

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇEMİŞGEZEK CEVİZLİDERE BARAJI ÖLÇEĞİNDE ÇEVRESEL AKIŞ
TAYİNİ YÖNTEM ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çağlar KAYNAK

Meteoroloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Atmosfer Bilimleri Lisansüstü Programı

HAZİRAN, 2018

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇEMİŞGEZEK CEVİZLİDERE BARAJI ÖLÇEĞİNDE ÇEVRESEL AKIŞ
TAYİNİ YÖNTEM ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Çağlar KAYNAK
(511131023)**

Meteoroloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Atmosfer Bilimleri Lisansüstü Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Kasım KOÇAK

HAZİRAN, 2018



ÖNSÖZ

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca yardım, bilgi ve tecrübeleri ile bana sürekli destek olan başta Sayın Prof. Dr. Kasım KOÇAK olmak üzere Meteoroloji Mühendisliği bölümündeki tüm hocalarıma teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimimde aldığım dersindeki yol göstericiliği, çalışma konuma olan katkısı dolayısıyla Prof. Dr. Bihret ÖNÖZ hocama özellikle çok teşekkür ederim.

Hayatımı yönlendirirken her zaman yanımda hissettiğim ve beni her koşulda destekleyen sevgili aileme çok teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimimle birlikte bir taraftan sürdürdüğüm meslek hayatımda binlerce kilometre uzaktan eğitimimi tamamlayabilmem için yardımlarını esirgemeyen, meslek ahlakı ve aile yaşantısıyla bana her daim örnek olan Sayın Veysel KARANFİL'e ve değerli eşleri Semra KARANFİL'e minnettarım.

Lisans eğitimim sırasında kurumlarında staj imkanı sağlayarak çalışma konumun ilk fikrini filizlendiren, bilgi ve birikimlerini benden esirgemeyen değerli meslektaşlarım Sayın İmdat KARAMAN ve Sayın Musa KUKUL'a teşekkür ederim.

Araya giren mesafelere rağmen bitmeyen, aksine güçlenen dostluğuyla manevi desteğini benden hiçbir zaman esirgemeyen değerli arkadaşım Sayın Melike ÇATALKAYA'ya teşekkür ederim.

Haziran 2018

Çağlar KAYNAK
(Meteoroloji Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
SEMBOLLER	xi
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
ŞEKİL LİSTESİ	xv
ÖZET	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
1.1 Barajların Anadolu'daki Tarihsel Gelişimi	3
2. ÇALIŞMA ALANI	9
3. ÇEVRESEL AKIŞ	13
3.1 Çevresel Akış Uygulamalarının Tarihsel Gelişimi	14
3.2 Çevresel Akış Yöntemleri	16
3.2.1 Hidrolojik yöntemler	17
3.2.1.1 Tennant yöntemi	18
3.2.1.2 Düşük akım indisleri yöntemi	19
3.2.1.3 Debi süreklilik eğrisi yöntemi	20
3.2.1.4 Akuatik baz akım yöntemi	22
3.2.2 Hidrolik derecelendirme yöntemleri	22
3.2.2.1 Islak çevre yöntemi	22
3.2.2.2 Uyarlanmış ekolojik hidrolik yarıçap yaklaşımı yöntemi (AEHRA)	24
3.2.2.3 Akış hadisesi yöntemi	24
3.2.3 Habitat simülasyon yöntemleri	25
3.2.3.1 Akış artırma yöntemi (Instream Flow Incremental Methodology - IFIM)	25
3.2.3.2 PHABSIM	27
3.2.4 Bütünleşik yöntemler	28
3.2.4.1 Building block yöntemi (BBM)	29
3.2.4.2 Desktop reserve modelleri (DRM)	32
3.2.4.3 DRIFT (Downstream Response to Imposed Flow Transformation).. ..	33
3.2.4.4 ELOHA (Ecological Limits of Hydrological Alteration)	34
3.3 Çevresel Akış Yöntemlerinin Güçlü/Zayıf Yönleri	36
3.3.1 Hidrolojik yöntemlerin güçlü/zayıf yönleri	36
3.3.2 Hidrolik derecelendirme yöntemlerinin güçlü/zayıf yönleri	37
3.3.3 Habitat simülasyon yöntemlerinin güçlü/zayıf yönleri	37
3.3.4 Bütünleşik yöntemlerin güçlü/zayıf yönleri	39
3.4 Türkiye'deki Çevresel Akış Uygulamaları	39
4. YÖNTEM VE HESAPLAMALAR	43
4.1 Islak Çevre Yöntemi Uygulaması	43

4.2 Akuatik Baz Akım Yöntemi Uygulaması.....	50
4.3 Debi Süreklilik Eğrisi Yöntemi Uygulaması.....	51
4.4 Düşük Akım İndisleri Yöntemi Uygulaması.....	52
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	53
KAYNAKLAR.....	55
EKLER	59
ÖZGEÇMİŞ.....	63



KISALTMALAR

AGİ	: Akım Gözlem İstasyonu
AEHRA	: Uyarlanmış Ekolojik Hidrolik Yarıçap Yaklaşımı
BBM	: Building Block Methodology
CEV	: Chronic Effects Value
ÇED	: Çevresel Etki Değerlendirme
DRIFT	: Downstream Response to Imposed Flow Transformation
DRM	: Desktop Reserve Methods
DSİ	: Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
EDR	: Ekolojik Değerlendirme Raporu
ELOHA	: Ecological Limits of Hydrologic Alteration
GAP	: Güney Doğu Anadolu Projesi
IFIM	: Instream Flow Incremental Methodology
IUCN	: Uluslararası Doğa Koruma Birliği
OMGİ	: Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonu
PHABSIM	: Physical Habitat Simulation
SASS	: South African Scoring System
TNC	: The Nature Conservancy
TWQR	: Target Water Quality Range
UKTAG	: United Kingdom Technical Advisory Group
WWF	: World Wildlife Fund

SEMBOLLER

A	: Akıma dik akarsu enkesit alanı
ha	: Hektar
n	: Manning pürüzlülük katsayısı
P	: Islak çevre
R	: Hidrolik yarıçap
Q	: Debi
S	: Su yüzeyi eğimi



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : Su istatistikleri.....	2
Çizelge 2.1 : Yıllar bazında işletme durumuna göre sulama alanları 1995 - 2016....	11
Çizelge 3.1 : Tennant yöntemine göre ortalama akış yüzdeleri.....	19
Çizelge 3.2 : Ekolojik yönetim sınıflandırması	31
Çizelge 4.1 : Hassas balık türlerinin minimum su derinliği ve akım hızı.....	44
Çizelge 4.2 : Manning pürüzlülük katsayısı düzeltme faktörleri.....	47
Çizelge 4.3 : Akarsu kesitine ait hidrolik hesaplama sonuçları.....	48
Çizelge4.4 : Hesaplanan sonuçlara göre sucul habitat minimum su derinlik ve akım hızına karşılık gelen debi ve diğer hidrolik özellikler.	49
Çizelge A.1 : Cevizlidere Barajı doğal akışları.	58
Çizelge B.1 : Cevizlidere Barajı akış yöntemleri karşılaştırması (m^3/s)	62
Çizelge B.2 : Cevizlidere Barajı önerilen çevresel akış yöntemleri.	62



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Anadolu'daki barajların yerleri.	4
Şekil 1.2 : Yıllara göre baraj sayısı 1936 – 2016.....	5
Şekil 1.3 : Kullanım amacına göre barajların dağılımı.....	6
Şekil 1.4 : İşletmeye açılan DSİ sulamaları dağılımı.	6
Şekil 2.1 : Aks yeri ve rezervuarın konumu..	8
Şekil 2.2 : Çemişgezek – Cevizlidere Barajı arası güzergah	10
Şekil 2.3 : Cevizlidere Barajı ve sulama alanı	11
Şekil 2.4: Cevizlidere Barajı aylık ortalama akımlarının Çemişgezek ortalama aylık toplam yağışları ile karşılaştırılması	12
Şekil 3.1 : Tennant Yöntemi ortalama akış yüzdeleri.....	18
Şekil 3.2 : Islak çevre.....	23
Şekil 3.3 : Islak çevre - debi ilişkisi.....	24
Şekil 4.1 : 30 Ocak 2014 günü akarsuyun genel görünümü.	45
Şekil 4.2 : P_b - Q_b Eğrisi.....	46
Şekil 4.3 : Akarsu kesit geometrisi.....	46
Şekil 4.4 : Akarsu kesiti için Q_b – P_b ilişkisi.	50
Şekil 4.5 : Cevizlidere Barajı aylık ortalama akışlarının zamansal değişimi.....	50
Şekil 4.6 : Cevizlidere Barajı debi – süreklilik eğrisi.....	51



ÇEMİŞGEZEK CEVİZLİDERE BARAJI ÖLÇEĞİNDE ÇEVRESEL AKIŞ YÖNTEM ANALİZİ

ÖZET

Su, hayatın devamı için alternatifi olmayan bir maddedir. Bilinen tarih boyunca insanoğlu, suya olan bağımlılığı dolayısıyla yerleşim yerlerinin konumlandırılması, tarım faaliyetlerinin sürdürülebilirliği, enerji ihtiyacının karşılanması gibi birçok konuda su kullanımının planlanmasına ihtiyaç duymuştur. Dünya genelinde artan nüfus, tüketim alışkanlıklarındaki olumsuz değişimler ve değişen iklim şartları mevcut akarsuların sucul habitatlarındaki olağan akış seyrinde yetersiz kalmasına sebep olmuştur. Özellikle tarımsal faaliyetlerde ihtiyaç duyulan suyun tarım arazilerinden karşılanamıyor olması sulama ihtiyacını ortaya çıkarmıştır.

Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesi'nde, Güney Doğu Anadolu Projesi kapsamında ivmelenen sulama faaliyetleri, bu konuda yetkili Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü'nün öncülüğünde sürmektedir.

Bununla birlikte enerji ihtiyacını karşılama, içme suyu temini ve taşkın kontrolü amacıyla inşa edilen su yapılarının sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Akarsularımızda inşa edilen barajların sağladıkları faydaların yanında, akarsu ve çevresine verdikleri zarar da bilinmektedir. Baraj inşalarında ortaya çıkan, akarsuların olağan akış seyrinin değiştirilmesi, akarsu çevresindeki doğal döngünün tahrip edilmesi gibi etkiler uzun vadede içindeki canlılarla birlikte akarsuların yok olması tehdidini doğurmaktadır. Bu sebeple baraj projelerinde sağlanacak faydadan ziyade var olan doğal döngünün sürdürülebilirliği öncelikli olmalıdır.

Türkiye ve dünyadaki baraj projelerinde, akarsu yatağındaki ekolojik hayatın devamı için gerekli miktarda suyun akarsu mansabına bırakılması şeklinde özetlenebilecek çevresel akışların belirlenmesi çalışmaları 20. yüzyılın en önemli konularından biri olmuştur. Bilinen en eski çevresel akış belirleme yöntemi olan Tennant Yöntemi ile başlayan süreçte değişen ihtiyaçlar ve gelişen teknolojiyle birlikte temel kabul edilen Tennant Yöntemi'nin onlarca modifikasyon geçirmesinin yanında farklı yaklaşımları esas alan birçok yöntem geliştirilmiştir. Bazı ülkeler çevresel akışları yalnızca tek bir yöntemle belirlerken birçok ülkede bütünsel yöntemlerin kullanımı gerekli görülmüştür.

Türkiye'de 2003 yılında çıkarılan yönetmelikle birlikte çevresel akışların belirlenmesinde Tennant Yöntemi'nin kullanılması uygun bulunmuştur. Buna göre baraj projelerinde akarsuyun mansabına bırakılacak çevresel akış miktarı, son on yıla ait yıllık ortalama akışın %10'u ile sınırlandırılmıştır.

İklim değişkenleriyle yapılan çalışmalarda herhangi bir bölgenin iklimi ile ilgili bilgi verebilmesi açısından en az otuz yıllık veriye ihtiyaç duyulduğu bilinmektedir. Bununla birlikte bir veri setinin istatistiksel anlamlılığını tayin edebilmek, veri setinin yeterli uzunluğa sahip olmasıyla mümkündür. Tüm bu argümanlar dikkate alındığında on yıllık ortalama akışların, asgari ömrü 50 yıl olarak belirlenen baraj

projeleri için iklimsel ve istatistiksel bir anlamlılık ifade etmesi şüphe uyandırıcıdır. Ayrıca bu yaklaşım baraj projelerine esas olan baraj öncesi doğal akışların değişebilirliğini göz ardı etmektedir.

Bu çalışmada, çevresel akışların belirlenmesinde tek bir yöntemin kullanılmaması gerektiği ve farklı akış rejimine sahip akarsularda farklı yöntemlerin uygulanabileceği incelenmiştir. Tunceli ili Çemişgezek ilçesinde bulunan Cevizlidere Barajı çevresel akış miktarı tayini için 1985 – 2012 yıllarında kaydedilen baraj öncesi akışlar ve aynı periyotta kaydedilen meteorolojik parametreler kullanılmıştır.

Çalışmada Türkiye’de hidrolojik model geliştirme konusunda gerekli insan gücünün ve dünya literatüründe yer alan mevcut modellerin çalıştırılmasında ihtiyaç duyulan veri türünün sağlanması için yeterli ölçüm ve gözlem ağının bulunmaması sebebiyle salt baraj öncesi akış verisi kullanılmıştır. Baraj öncesi akış verisi kullanılarak Islak Çevre, Akuatik Baz Akım, Debi Süreklilik Eğrisi ve Düşük Akım İndisleri yöntemleriyle farklı çevresel akış miktarları hesaplanmıştır.

Buna göre Cevizlidere Barajı mansabında bırakılması gereken çevresel akış miktarlarının Ekim, Kasım, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında Debi Süreklilik Eğrisi Yöntemi’nin Q75 istatistiği ile, Aralık, Ocak, Şubat, Mart, Nisan Mayıs ve Haziran aylarında ise son on yıllık ortalamalarla hesaplanması gerektiği gözlenmiştir.

Çalışmada, Türkiye’de kullanılan mevcut çevresel akış yönteminin Cevizlidere Barajı ölçeğinde dahi yetersiz kalması sebebiyle alternatif yöntem ve yaklaşımlara ihtiyaç duyulduğunun gösterilmesi amaçlanmıştır.

AN ENVIRONMENTAL FLOW METHOD ANALYSIS AT THE SCALE OF ÇEMİŞGEZEK CEVİZLİDERE DAM

SUMMARY

Water is an essential and indispensable substance for continuation of human life and existence with no other equivalent or alternative. Throughout the known history, due to their dependance on water, human beings have always felt a need for planning use of water for such purposes as determining location of settlement areas, sustainability of agricultural activities and satisfaction of energy requirements. Ever-increasing population all over the world, unfavorable changes in people's consumption habits and changing climate conditions resulted in existing rivers becoming insufficient and inadequate in their natural cycles of flow within their aquatic habitats. Especially, the fact that water needed for agricultural activities could not possibly be met from agricultural lands has given rise to the need of storing water for irrigation purposes.

Irrigation activities gaining a momentum in Eastern Anatolia Region of Turkey as part of Southeastern Anatolia Project continue under the leadership and guidance of the competent public authority, General Directorate of State Hydraulic Works.

However, number of water holding and storage structures built for purposes of meeting energy needs, supply of drinking water and flood control are increasing with each passing day. Dams built on our rivers and streams are not only known for the benefits they provide us with, but also the damages they do to and harmful effects they have on the rivers and their surrounding areas. Such effects as changes in natural courses of rivers and disruption of natural cycles in riparian zones which occur together with dam construction bring about, in the long run, the threat of death and loss of rivers along with their living inhabitants. Therefore, in dam construction projects, sustainability of natural cycle in riparian zones should have priority over their expected benefits.

In dam projects both in Turkey and abroad, the efforts aimed at determining environmental flows - which can be summarized as release of sufficient amount of water into the river mouth required for ensuring continuation of ecological life in river bed - has come to be one of the most important concerns of the 20th century. Within the process starting from the Tennant Method which is the oldest known environmental flow determination method, changing needs and advancing technology brought along tens of modifications made to the Tennant Method which was recognised and regarded as the fundamental method as well as development of many other methods relying on different approaches. Whereas some countries determine environmental flows by using only one method, in many others there has arisen a need for utilization of integrated and combined methods.

In Turkey, use of Tennant Method in determining environmental flows was set down as appropriate by the regulation issued in 2003. As stipulated by the said regulation, amount of environmental flow to be released into downstream area in dam projects is limited to 10% of the average monthly flow of the last ten years.

It is known that in studies conducted using climatic variables, for any data to provide any information about climate of a region, at least thirty years' data is required to be analysed. However only if a data set has existed for the required period of time is it possible to determine statistical significance thereof. Given all these arguments, it is highly suspicious that average ten-year flows have a climatic and statistical significance for dam projects with an expected lifetime of at least 50 years. Furthermore, this approach overlooks and does not take into account variability of natural flows prior to dam construction, which constitutes a basis for and plays an essential role in dam projects.

In this study, what has been addressed and discussed is that single method approaches should not be employed in determination of environmental flows and that different methods can be used in rivers with different flow regimes. Pre-dam environmental flows recorded in 1985-2012 and meteorological parameters recorded in the same period were used in this study to determine the amount of environmental flow of Cevizlidere Dam located in Çemişgezek town of Tunceli Province.

In this study, only pre-dam flow data were used, for in Turkey there is a lack of necessary human power for developing hydraulic models and an absence of an adequate measurement and observation network for supply of data type needed to implement and use current models available in the world literature. Using pre-dam flow data, different amounts of environmental flows were calculated through methods of Wetted Perimeter, Aquatic Base Flow, Flow Duration Curve and Low-Flow Indices.

Based on the results obtained, it has been observed that in October, November, July, August and September environmental flow amounts to be released into downstream of Cevizlidere Dam are required to be calculated by using Q75 statistics of Flow Duration Curve Method whereas in December, January, February, March, April, May and June they are required to be calculated by using averages of the last ten years.

In this study, it is intended to demonstrate that use of alternative methods and approaches is needed as the current environmental flow method used in Turkey is not sufficient and satisfying even at the scale of Cevizlidere Dam.

1. GİRİŞ

Çevresel akış miktarının belirlenmesinde ulusal bir yönteme ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yöntem belirlenirken her akarsuyun kendi karakteristiğinin olduğu ve çevresindeki ekosistemin ihtiyaçları göz önünde bulundurulmalıdır. Çevresel akış miktarının ve akarsu mansabına bırakılma zamanlamasının hangi kurum tarafından kontrol edileceği ve aksi hallerde uygulanacak yaptırım mekanizmaları yasal düzenlemelerle netleştirilmelidir. Ayrıca akarsuyun bulunduğu yerdeki nüfusun ve konuyla ilgili sivil toplum kuruluşlarının da bu sürece dahil edilmesi gerekmektedir. TEMA Vakfı'nın bu konudaki görüşü "...Su Kullanım Anlaşması yapılırken bırakılacak çevresel akış miktarı, sulama suyu, içme suyu ve balık üretim çiftliklerinin ihtiyaç duydukları kullanım suyu konusu net değildir. Debiler, ay ve gün olarak belirlenmediğinden hangi zamanda ne kadar suyun bırakılacağı anlaşmalarda belirtilmemiştir. Yerel halkın kendi ihtiyaçları için yaptığı tarımsal faaliyetler ile sulu tarım için günümüzde ve gelecekte gereken su miktarı hesaba katılmamaktadır. Baraj projesi yapılacak akarsularda su tespiti yapılmalı, halkın mevsimsel su kullanım miktarı belirlenmelidir. Bu oranlar proje dosyalarında bırakılması planlanan çevresel akış miktarları ile karşılaştırılıp ekosistem ihtiyaçları da (taşkın alanları ile birlikte) dahil edilerek yeterliliği sorgulanmalıdır." şeklinde ifade edilmektedir (Avcı ve diğ., 2009).

Üzerinde baraj projelerinin gerçekleştirildiği herhangi bir akarsu için önerilen çevresel akış miktarının düşük olması, ekolojik ihtiyacı gideremeyeceği gibi akarsu akış rejiminde de büyük değişiklikler oluşturmaktadır. Özellikle kurak mevsimlerde su miktarında ve dolayısıyla akışlardaki azalmanın diğer bir sonucu ise akarsu sistemlerine bağlı olan bitki örtüsü ile sucul habitatların olumsuz etkilenmesidir. Konuyla ilgili mevcut yönetmelikte hiçbir ayırım yapılmadan standart bir çevresel akış miktarı ifade edilmektedir. Akarsu yataklarının kesiti belli olan beton bir kanal olduğu varsayımıyla, yatak enkesiti genişliğinin değişimi, buharlaşma, yeraltına sızma, sıcaklık artışı, su derinliği, su sıcaklığı, su kalitesi, pH değişimi gibi sucul canlılar için son derece önemli olan hususlar dikkate alınmamaktadır.

Dünyadaki toplam su miktarı 1,4 milyar km^3 'tür. Bu suların %97,5'i okyanuslarda ve denizlerde tuzlu su olarak, %2,5'i ise nehir ve göllerde tatlı su olarak bulunmaktadır.

Türkiye'de yıllık ortalama yağış yaklaşık 643 mm olup, yılda ortalama 501 milyar m^3 suya tekabül etmektedir. Bu suyun 274 milyar m^3 'ü toprak ve su yüzeyleri ile bitkilerden olan buharlaşmalar yoluyla atmosfere geri dönmekte, 69 milyar m^3 'lük kısmı yeraltı suyunu beslemekte, 158 milyar m^3 'lük kısmı ise akışa geçerek çeşitli büyüklükteki akarsular vasıtasıyla denizlere ve kapalı havzalardaki göllere boşalmaktadır. Yeraltı suyunu besleyen 69 milyar m^3 'lük suyun 28 milyar m^3 'ü pınarlar vasıtasıyla yerüstü suyuna tekrar katılmaktadır. Ayrıca komşu ülkelerden ülkemize gelen yılda ortalama 7 milyar m^3 su bulunmaktadır. Böylece ülkemizin brüt yerüstü suyu potansiyeli 193 milyar m^3 olmaktadır.

Yeraltı suyunu besleyen 41 milyar m^3 de dikkate alındığında, ülkemizin toplam yenilenebilir su potansiyeli brüt 234 milyar m^3 olarak hesaplanmıştır. Ancak günümüz teknik ve ekonomik şartları çerçevesinde, çeşitli maksatlara yönelik olarak tüketilebilecek yerüstü suyu potansiyeli yurt içindeki akarsulardan 95 milyar m^3 , komşu ülkelerden yurduımıza gelen akarsulardan 3 milyar m^3 olmak üzere, yılda ortalama toplam 98 milyar m^3 'tür. 14 milyar m^3 olarak belirlenen yeraltı suyu potansiyeli ile birlikte ülkemizin tüketilebilir yerüstü ve yeraltı su potansiyeli yılda ortalama toplam 112 milyar m^3 olup, 44 milyar m^3 'ü kullanılmaktadır (Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, 2017).

Çizelge 1.1 : Su istatistikleri (DSİ,2017).

Yıllık ortalama yağış	643 mm/yıl
Türkiye'nin yüzölçümü	783.577 km^2
Yıllık toplam yağış	501 milyar m^3
Buharlaşma	274 milyar m^3
Yer altına sızma	41 milyar m^3
Yıllık yüzey akışı	186 milyar m^3
Kullanılabilir yüzey suyu	98 milyar m^3
Yer altı suyundan yıllık çekilebilir su	14 milyar m^3
Toplam kullanılabilir su	112 milyar m^3

Çizelge 1.1'de gösterilen istatistiklerde de ifade edildiği gibi ülkemizde üzerlerinde çeşitli amaçlarla kullanılmak üzere baraj inşa edilen akarsulardaki su miktarı yaygın görüşün aksine sınırlıdır. Bu sebeple su kaynakları kullanımının titizlikle

planlanması, akarsu ve çevresindeki ekolojik hayatın sürdürülebilirliği konusunda ilgili her kesimden iştiraklere açık bir yönetim anlayışı benimsenmelidir.

1.1 Barajların Anadolu'daki Tarihsel Gelişimi

Bugünkü ülke sınırlarımızın büyük bir bölümünü oluşturan Anadolu, binlerce yıldır birçok medeniyete ev sahipliği yapmış bir coğrafyadır. En eski medeniyetlerden günümüze kadar her dönem su kaynaklarının ihtiyaca uygun, verimli kullanımı ve yönetimi ile ilgili konular öncelik haline gelmiştir. Günümüzde gerçekleştirilen arkeolojik kazı çalışmalarında hala bu dönemlere ait su yapılarının izlerine rastlanmaktadır.

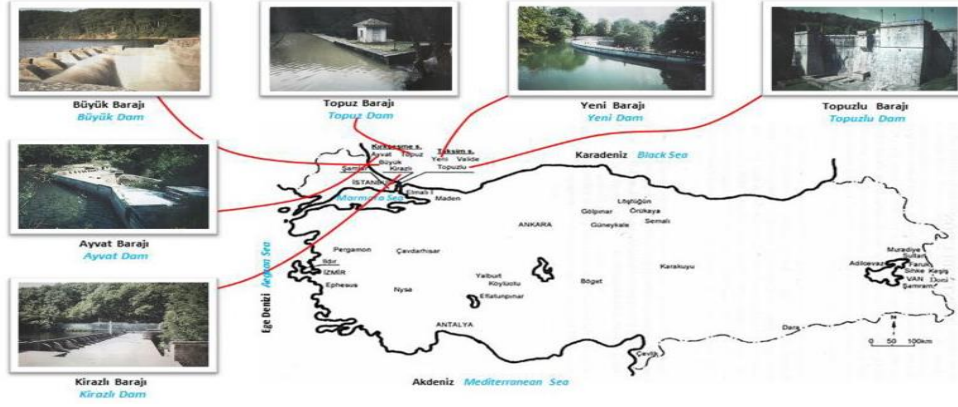
Şekil 1.1'de bugünkü Türkiye sınırlarındaki yerleri gösterilen su yapılarının kalıntıları, M. Ö. 2000 yıllarından başlayarak Hititlerden Doğu Anadolu'da Urartulara, Helenistik, Roma ve Bizans döneminden Selçuklu ve Osmanlı dönemine kadar Anadolu'da hayat bulan tüm medeniyetlerden miras kalmıştır.

Anadolu'daki ilk küçük baraj Urartular döneminde, bugünkü adıyla Van şehrinde bulunan Rusa (Kesiş) gölünün hacmini artırmak ve Urartuların ikinci başkenti sayılan Rusahinili (Toprakkale)'ye su sağlamak amacıyla inşa edilmiştir.

Roma döneminde ise Anadolu'da inşa edilen üç baraj göze çarpmaktadır: Çavdarhisar Barajı, Orükaya Barajı ve Böget Barajı. Çavdarhisar Barajı'nın, Kütahya yakınlarında civar şehirleri taşkınlardan koruma; Orükaya Barajı'nın, Çorum yakınlarında sulama; Böget Barajı'nın ise Niğde yakınlarında şehrin içme suyu ihtiyacını karşılamak üzere yapıldığı düşünülmektedir.

Selçuklu döneminde baraj türü yapılarda bir gelişme kaydedilememiş olsa da özellikle Konya ve civarında sulama yapıları geliştirilmiştir.

16. yüzyıla kadar genellikle toprak dolgulu olarak inşa edilen su yapıları, Osmanlı dönemi ve Mimar Sinan ile birlikte yerini kargir barajlara bırakmıştır.



Şekil 1.1 : Anadolu'daki barajların yerleri (DSİ, 2014).

Osmanlı döneminde su işleri, 1914 yılında Nafia Nezareti'nin yapılandırılmasıyla kurulan Umur-u Nafia Müdüriyet-i Umumiyesi (Bayındırlık İşleri Genel Müdürlüğü) ile düzenli ve örgütlü bir şekilde yürütülmeye başlanmıştır. Cumhuriyet'in ilk yıllarında Umur-u Nafia Müdüriyet-i Umumiyesi'ne bağlı Sular Fen Heyeti Müdürlüğü ve Bursa, Ankara, Adana, Edirne, İzmir Su İşleri Müdürlükleri kurulmuştur.

1930 yılında Mustafa Kemal Atatürk'ün emriyle Ankara'nın Çubuk Çayı üzerinde yapımına başlanan Çubuk I Barajı, 1936'da taşkın kontrolü ile içme ve sanayi suyu temini amacıyla hizmete başlamıştır.

Cumhuriyet döneminin ikinci barajı 1938 yılında, Bursa'nın Kestel ilçesinde tamamlanan Gölbaşı Barajı'dır. Bu tarihten sonra sırasıyla Niğde'de Gebere Barajı (1941), Van'da Sihke Barajı (1948), Eskişehir'de Porsuk I Barajı (1949), Ankara'da Sakarya Barajı (1956) faaliyete geçmiştir.

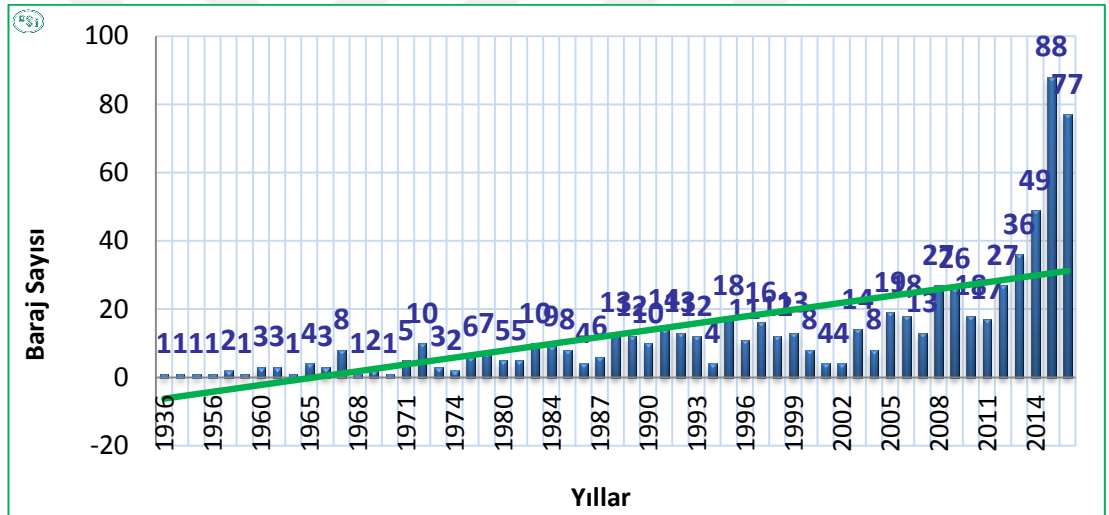
1954 yılına gelindiğinde enerji, sulama, taşkın kontrolü, içme – kullanma ve sanayi suyu temini maksadıyla inşa edilen barajların sorumluluğu kurulan Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ)'ne devredilmiştir. DSİ'nin kuruluşuyla birlikte su yapıları inşasında hız kazanılmıştır.

1974 yılında ilk 4 türbini, 1981 yılında ise diğer 4 türbini devreye sokulan Keban Barajı, Güneydoğu Anadolu Projesi (GAP) kapsamında bölgenin enerji ihtiyacını karşılamak üzere kurulmuş, halen Türkiye'nin dördüncü en büyük barajı olarak faaliyetine devam etmektedir.

Keban Barajı'ndan sonra Fırat Nehri üzerindeki yapımı 1987 yılında tamamlanan Karakaya Barajı, Adıyaman, Malatya, Elazığ ve Diyarbakır illerinin sınırını oluşturmaktadır. Karakaya Barajı, kurulu güç bakımından Türkiye'nin ikinci en büyük barajı olma özelliğini korumaktadır.

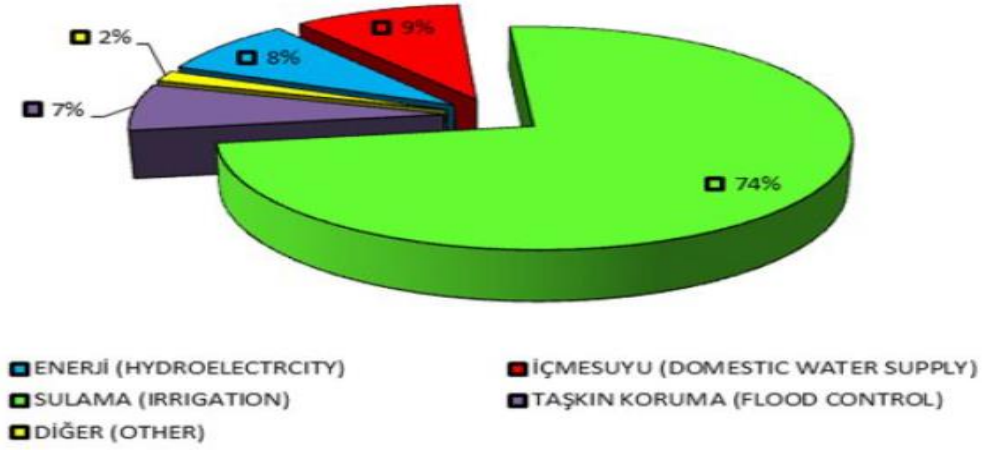
Yine GAP kapsamında, yapımı Şanlıurfa ve Adıyaman illeri arasında 1992 yılında tamamlanan Atatürk Barajı, Türkiye'de üretilen hidroelektrik enerjinin 1/5'ini karşılamaktadır.

2000li yıllara gelindiğinde Türkiye'de ve dünyada ilk sıralara yerleşen büyük baraj projelerinin yapımlarına başlanmıştır. Çoruh Nehri üzerindeki Deriner Barajı, Göksu Çayı üzerindeki Ermenek Barajı, Çoruh Nehri üzerindeki Yusufeli Barajı hidroelektrik enerji ihtiyacını karşılama amacıyla inşa edilmiş en yüksek barajlardır (Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, 2014).



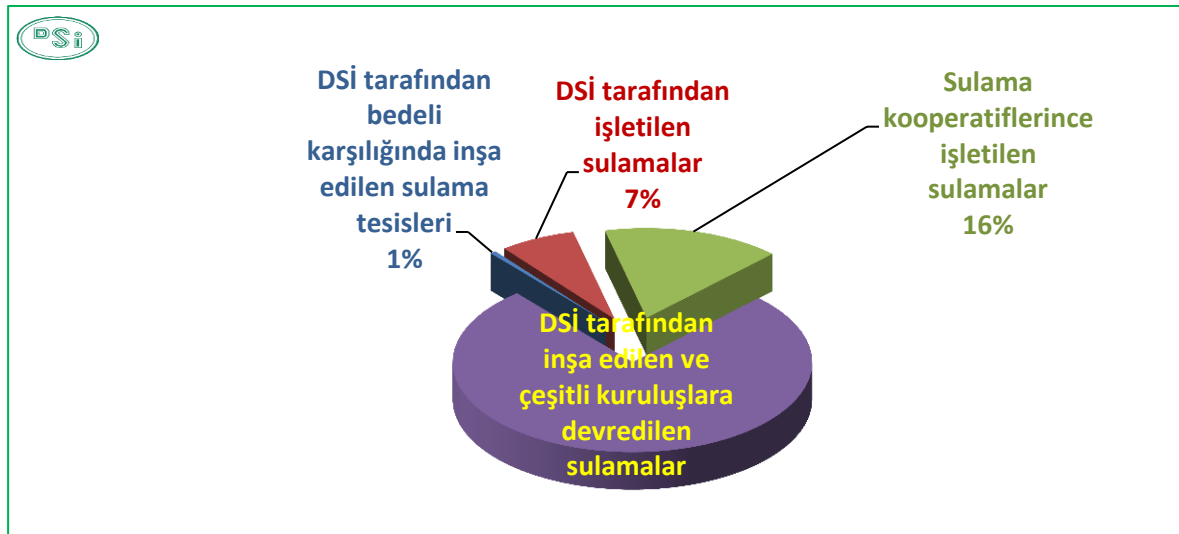
Şekil 1.2 : Yıllara göre baraj sayısı 1936 – 2016.

Türkiye'de 1936 – 2016 yılları arasında projesi tamamlanmış barajların sayısı Şekil 1.2'de gösterilmektedir. Buna göre 1990 – 2016 yılları arasında baraj yapımında dramatik bir artış gözlenmektedir. Şekil 1.3'te belirtildiği gibi kullanım amacına göre sınıflandırıldığında mevcut barajların %8'ini enerji, %9'unu içme suyu, %74'ünü sulama, %7'sini taşkın koruma ve %2'sini diğer amaçlar için inşa edilen barajlar oluşturmaktadır.



Şekil 1.3 : Kullanım amacına göre barajların dağılımı.

2016 yılı itibariyle yıllar bazında işletme durumuna göre sulama alanlarının toplamı 3.080.402 hektardır. Şekil 1.4'te gösterildiği üzere DSİ tarafından işletilen sulamalar %7, DSİ tarafından bedeli karşılığında inşa edilen sulama tesisleri %1, DSİ tarafından inşa edilen ve çeşitli kuruluşlara devredilen sulamalar %76, sulama kooperatiflerince işletilen sulamalar ise %16'lık orana sahiptir. Çizelge 1.2'de belirtildiği üzere, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü tarafından 2016 yılı sonu itibariyle açıklanan toplam 3.080.402 hektar sulama alanının 210.401 hektarını DSİ tarafından işletilen, 2.356.376 hektarını devredilen kuruluşlarca işletilen, 16.992 hektarını bedeli karşılığında inşa edilen, 496.633 hektarını ise sulama kooperatiflerince işletilen sulama alanları oluşturmaktadır.



Şekil 1.4 : İşletmeye açılan DSİ sulamaları dağılımı.

Çizelge 1.2 : Yıllar bazında işletme durumuna göre sulama alanları 1995 – 2016 (DSİ, 2017).

Yıl	Net Sulama Alanı (ha)				Toplam
	DSİ Tarafından İşletilen	Devredilen Kuruluşça İşletilen	Bedeli Karşılığı İnşa Edilen	Sulama Kooperatiflerince İşletilen	
1995	624.852	978.576	15.642	278.780	1.897.850
1996	482.775	1.190.334	15.752	290.515	1.979.376
1997	445.438	1.279.039	15.746	317.925	2.058.148
1998	325.756	1.483.931	15.746	329.485	2.154.918
1999	313.452	1.529.454	15.746	343.910	2.202.562
2000	256.435	1.618.669	15.746	360.775	2.251.625
2001	245.224	1.663.730	15.746	371.650	2.296.350
2002	247.465	1.694.736	15.746	382.250	2.340.197
2003	128.489	1.826.245	15.746	382.880	2.353.360
2004	113.158	1.860.969	15.766	406.491	2.396.384
2005	99.236	1.922.132	16.021	421.416	2.458.805
2006	101.222	1.976.094	16.066	434.120	2.527.502
2007	82.420	2.037.101	16.066	438.214	2.573.801
2008	88.054	2.090.330	16.066	443.954	2.638.404
2009	87.772	2.135.824	16.066	450.373	2.690.035
2010	76.420	2.181.738	17.510	451.772	2.727.440
2011	79.704	2.209.436	17.510	456.317	2.762.967
2012	95.241	2.237.282	17.510	455.507	2.805.540
2013	142.740	2.208.936	17.285	478.421	2.847.382
2014	130.587	2.298.026	17.285	489.585	2.935.483
2015	189.601	2.325.378	17.285	493.973	3.026.237
2016	210.401	2.356.376	16.992	496.633	3.080.402

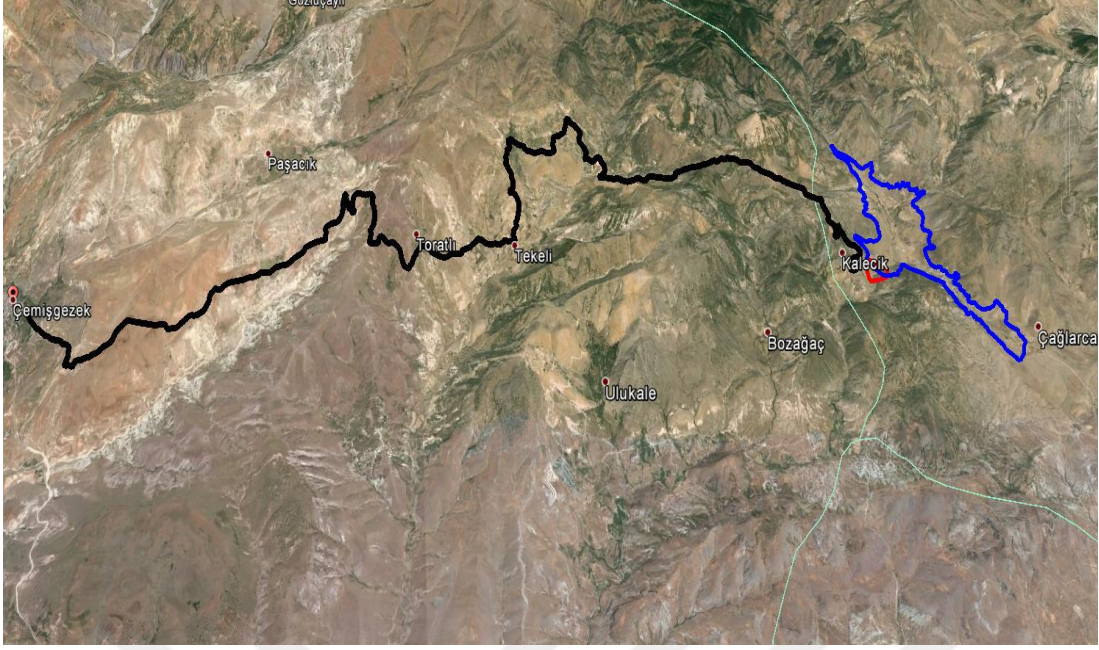


2. ÇALIŞMA ALANI

Bu çalışmada, Doğu Anadolu Bölgesi'nde bulunan Tunceli ili, Çemizgezek ilçesi sınırları içinde, Keban Barajına drene olan Fırat Nehri'nin Cevizli Dere kolu üzerinde yer alan Cevizlidere Barajı'na ait çevresel akış miktarının belirlenmesinde kullanılacak yöntemin belirlenmesi ve alternatif yöntem önerisinde bulunma amaçlanmaktadır. Baraj, sulama suyu temini amaçlı olup 1190,5 m talveg kotunda yer almaktadır. Ön yüzü beton kaplamalı, kil çekirdekli kaya dolgu tipindeki barajın yağış alanı 55,47 km², yıllık ortalama akım ise 20,1 hm³'tür.

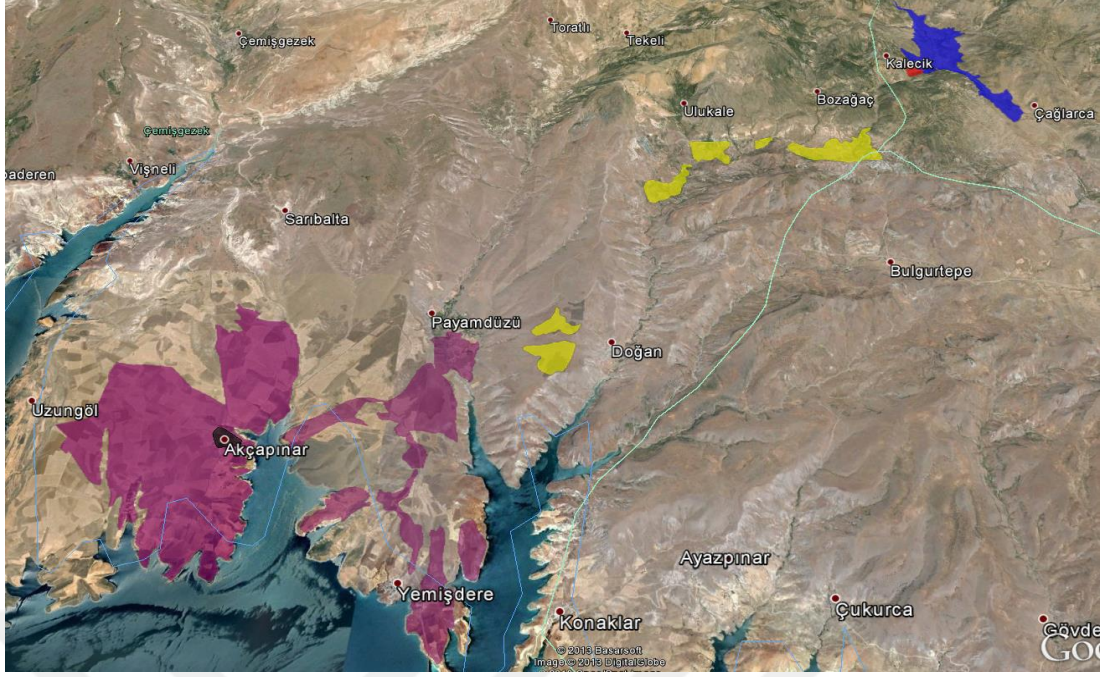


Şekil 2.1 : Aks yeri ve rezervuar alanının konumu.



Şekil 2.2 : Çemişgezek - Cevizlidere Barajı arası güzergah.

Sulama alanı, ortalama 1130,0 m ile 840,0 m kotları arasında, Tağar Çayı'nın (Keban Barajı rezervuarının) batı ve doğusunda olmak üzere, iki ayrı ovayı (Akçapınar ve Sakyol Ovaları) kapsamaktadır. Şekil 2.1'de aks yeri ile rezervuarının konumu ve Şekil 2.2'de Çemişgezek ilçesi ile arasındaki güzergahın gösterildiği barajın üç tarafı Keban Barajı rezervuarı ile çevrilidir. Genel eğim yüksek kotlardan Keban barajı rezervuarına doğrudur. Baraj sayesinde Şekil 2.3'te gösterilen alan için sulama imkanı sağlanmaktadır.

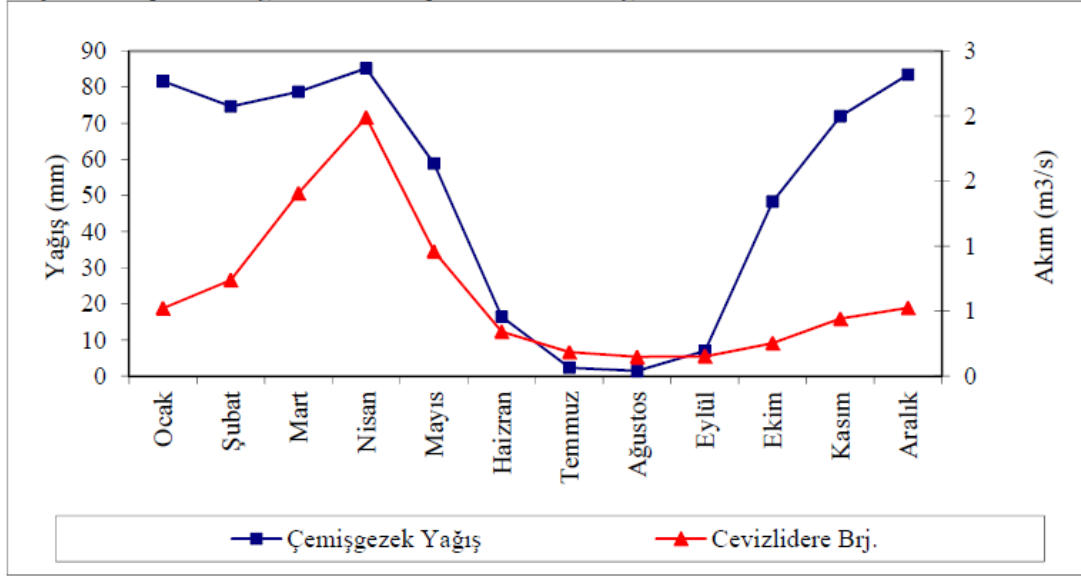


Şekil 2.3 : Cevizlidere Barajı ve sulama alanı.

Barajın bulunduğu bölge Doğu Anadolu iklimi (karasal iklim) etkisi altındadır. Karasal iklim, yazların sıcak ve kurak, kışların soğuk ve kar yağışlı olması ile karakteristiktir. Regülatörün havzasında 1500 m'nin üstünde olan yerler kışın karla kaplıdır. Kar yağışı ve don olayı sonbaharın sonundan Mart ayına kadar sürmektedir. Kar örtüsünün yerde kalma süresi genellikle dört ayı bulmaktadır. En çok yağış Kasım ve Mayıs ayları arasındaki dönemde gerçekleşmektedir. En kurak aylar ise Temmuz, Ağustos ve Eylül'dür.

Baraj yakınlarında Çemişgezek otomatik meteoroloji gözlem istasyonu (OMGİ) bulunmaktadır. Bu istasyonun gözlemlerine göre uzun süreli ortalama yıllık toplam yağış 610 mm'dir. Yıllık toplam yağışın en düşük olduğu yıl 335,2 mm ile 1991, en yüksek olduğu yıl ise 1011,6 mm ile 1963 yıllarıdır. Ayrıca, yıllık ortalama en düşük yağış 1,4 mm ile Ağustos, en yüksek yağış 83,5 mm ile Aralık aylarında düşmektedir.

Baraj alanında mevsimler arası sıcaklık farkı çok fazladır. Yıllık ortalama sıcaklık 13,5 °C'tır. En yüksek sıcaklık Temmuz ayında 27,2 °C; en düşük sıcaklık Ocak ayında -0,1 °C olarak ölçülmüştür. Cevizlidere Barajı yıllık net buharlaşma değerleri 754,0 mm'dir (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2017).



Şekil 2.4 : Cevizlidere Barajı aylık ortalama akımlarının Çemişgezek ortalama aylık toplam yağışları ile karşılaştırılması.

Şekil 2.4'te Cevizlidere Barajı aylık ortalama akım verileri ile baraj yakınlarındaki yağış koşullarını temsil eden Çemişgezek OMGI'ye ait aylık ortalama yağış değerleri karşılaştırılmıştır. Buna göre akımların genel olarak yerel yağış trendi ile uyumlu bir değişim gösterdiği izlenmektedir. Bununla birlikte yaz döneminde toprak neminin azalması ve kar şeklindeki yağışın katı fazda kilitli kalması nedeniyle kış aylarındaki yağışın tamamı akışa yansımamaktadır. Baraj yerinde akımlar en yüksek değerlerine Mart-Mayıs ayları arasındaki kar erimesi döneminde ulaşmaktadır. En düşük akımlar ise yağışların en düşük düzeyde olduğu Haziran-Eylül döneminde gözlenmektedir.

Cevizlidere Baraj yerinde uzun süreli yıllık ortalama akım değeri $0.639 \text{ m}^3/\text{s}$, son on yıllık ortalama akım değeri ise $0.604 \text{ m}^3/\text{s}$ 'dir. Uzun süreli yıllık ortalama akımların maksimum ve minimum değerleri ise sırasıyla $1.197 \text{ m}^3/\text{s}$ ve $0.281 \text{ m}^3/\text{s}$ 'dir. Öte yandan uzun süreli aylık ortalama akımlar ise $1.694 \text{ m}^3/\text{s}$ (Mart) ile $0.047 \text{ m}^3/\text{s}$ (Eylül) arasında değişmektedir.

3. ÇEVRESEL AKIŞ

Çevresel akış tayini, bir akarsu ekosisteminin sağlıklı kalabilmesi ve ekolojik işlevlerini sürdürebilmesi için doğal akış rejiminin ne kadarının akarsuyun mansabına ve taşkın ovasına akmaya devam etmesi gerektiğinin saptanmasıdır (World Wildlife Fund, 2014). Dünya genelinde binlerce barajın inşa edilmesi ve işletilmesi yoluyla küresel hidrolojik çevrimin insan eliyle değiştirilmesi, nehir ekosistemi işlevinin bozulmasına ve biyolojik çeşitlilik kaybına yol açmıştır. Barajların olumsuz hidrolojik etkilerini hafifletmek için çevresel akış kavramı ortaya çıkmıştır (Poff ve Matthews, 2013).

Çevresel akış yönetimi doğal ekosistemlerin korunması bağlamında oldukça karmaşıktır; çünkü bu karmaşa en temel kavramlarını bile kuşatan terminolojinin bolluğuna sebep olmuştur. Farklı disiplinlerden bilim insanlarını bir araya getiren akış yönetiminin kesişen doğası, mevcut etimolojik uyumsuzluğun bir nedenidir (Linnansaari ve diğ, 2012). Bu uyumsuzluğun ortadan kaldırılabilmesi için yaygın olarak kullanılan her bir terim tanımlanarak çalışmada kullanılacak standart bir terminoloji belirlenmiştir.

Önerilen Akış: Bir akarsuyun hidrolojik açıdan ekolojik fonksiyonlarını devam ettirmek, iyileştirmek veya yeniden düzenlemek için gerekli olan doğal bir akarsu akışından geçen su miktarı (Annear ve diğ, 2004) olarak tanımlanmıştır.

Çevresel Akış: Tatlı su ekosistemlerini ve bu ekosistemlere bağlı insan yaşamını ve refahını sürdürmek için gereken su akışlarının miktarı, kalitesi ve zamanlaması olarak tanımlanmıştır. Bu terim, 2007'de Brisbane'de düzenlenen Uluslararası Nehir Sempozyumu'nda 57 ülkeden 800'den fazla katılımcı tarafından onaylanmıştır.

Ekolojik Akış: Bir su kütlesinde, bu su kütlesi ve kenarları içinde bulunan flora ve faunanın ekolojik işlevini sağlamak için gereken akış ve su seviyeleri olarak tanımlanmıştır (World Wildlife Fund, 2014).

Bu çerçevede ulusal ve uluslararası literatürdeki yaygın kullanılışı göz önünde bulundurularak, çalışma boyunca “Çevresel Akış” terimi kullanılacaktır.

3.1 Çevresel Akış Uygulamalarının Tarihsel Gelişimi

Çevresel akışların tarihi, modern baraj inşaatlarının hızla arttığı 20. yüzyılın ortalarına dayanmaktadır. Daha çok baraj inşa edildikçe, bu yapıların nehir ekosistemleri üzerindeki olumsuz etkileri de artmaktadır.

1980'lerden önce çevresel akış, çoğunlukla Amerika Birleşik Devletleri ve Batı Avrupa'da büyük akarsulardaki canlı türleri için gereken minimum akışı sağlamayı amaçlayan indirgemeci bir yöntemle uygulanmaktadır. O dönemki ekolojik teori, su kaynakları yönetimi açısından ekosistem yapısının ve işlevinin sürdürülebilirliğinde ve korunmasında hidrolojik dinamiklerin önemi ve canlı türlerinin etkileşim ağına uyumu ile ilgili bilgi vermektedir.

İlk olarak Avusturya ve Güney Afrika'da çevresel akışların odak noktası sadece değerli balık türleri olmaktan çıkarılıp çoklu ekolojik hedeflere yönlendirilmiştir. Sonrasında ise doğal akış rejiminin insan etkisiyle uğradığı değişimler gündeme getirilmiştir.

1990'ların başında ve ortalarında özellikle Amerika Birleşik Devletleri'ndeki The Nature Conservancy (TNC), ekolojik açıdan benzer akış değişkenli barajların sebep olduğu alterasyonu sınıflandırmak için bir çerçeve geliştirmiştir. Barajların sebep olduğu ekolojik risk endekslerini hesaplayabilmek için, baraj öncesi akış sürelerinin referans koşul oldukları kabul edilmiştir. Daha sonra ekolojik açıdan benzer akış metriklerinin değişim oranları belirlenmiştir. Baraj öncesindeki referans koşulları ve baraj sonrasındaki değişim oranları kullanılarak oluşturulan zaman serileri kıyaslanmıştır.

Böylece doğal akış rejimi konseptinin ortaya çıkmasıyla birlikte 1990'ların ortalarında normatif akış kavramı ve hidrolojik alterasyon yönteminin göstergeleri belirginleşmiştir. Ekosistemin işlevini sürdürmek için karakteristik büyüklük, frekans, süre, zamanlama, öngörülebilirlik ve değişim oranına sahip bir dizi akışın gerekli olduğu ve bu anahtar akış rejimi bileşenlerinin değiştirilmesinin ekolojik değişikliğe ön ayak olduğu şeklinde özetlenecek bir sentez dönemine girilmiştir. Bu yaklaşım akış değişkenliğinin nehir restorasyonunun temel taşı olduğu ilkesini benimsemiştir.

2000’li yıllara yaklaşıldığında, özellikle Postel ve Richter’in yayınları, dünya genelinde tatlı su ekosistemi bütünlüğünün ve biyolojik çeşitliliğin kaybedilmesiyle ilgili kamuoyunda geniş bilimsel farkındalığın yükselmesine yardımcı olmuştur.

Bir diğer gelişim ise sivil toplum kuruluşlarının katılımı olmuştur. Örneğin, TNC ve Amerika Birleşik Devletleri Ordu Mühendisleri Birliği arasında büyük ölçekli nehir restorasyonu projelerinde işbirliği yapılarak federal ajanslardaki akademisyenlere ve bilim insanlarına yeni araştırma imkanı sağlanmıştır. Uluslararası Doğa Koruma Birliği (IUCN) gibi diğer uluslararası sivil toplum kuruluşları ve koruma örgütlerinin teşviğiyle yükselen ekonomilerde çevresel akış kavramı benimsenmeye başlamıştır (Dyson ve diğ., 2008).

Ayrıca TNC, Su Yardımı ve Sürdürülebilir Tatlısu Yönetimi konularında giderek daha fazla uzmanlık geliştirerek Dünya Doğal Hayatı Koruma Programı (WWF) ‘nın çevresel akışlarla ilgili çalışma alanını genişletmeye yardımcı olmuştur (World Wildlife Fund, 2009).

Sivil toplum kuruluşlarının çevresel akışlarla ilgili çalışmaları, su kaynakları geliştirme ve işletimiyle ilgili ulusal ve küresel uygulamalara katılan kurumlarla ilişkileri kolaylaştırmıştır. Böylece gelişmekte olan ülkelerdeki büyük barajların finansmanı ile ilgili politika ifadelerine çevresel akış kavramı dahil edilmiştir. Sonuç olarak çevresel akışlar, Entegre Su Kaynakları Yönetimi gibi havza yönetimine yönelik geliştirilen yaklaşımlara resmi olarak dahil edilebilecek yeni ve güçlü bir politika aracı olarak görülmeye başlamıştır (Bernhardt ve diğ., 2006).

Hızla yaygınlaşan çevresel akış kavramı yeni araştırma ve yönetim çıkarlarını da beraberinde getirmiştir. Su kaynakları mühendisleri, minimum akışların ötesinde ekolojik olarak fayda sağlamak için baraj operasyon şemalarının nasıl değiştirilebileceğini araştırmaya başlamışlardır (Eheart, 2004).

Tüm bu gelişmeler ışığında 2007 yılı, 57 ülkeden 800’den fazla bilim insanı, mühendis, kaynak yöneticisi, ekonomist ve politikacının katılımıyla çevresel akış ilkelerinin belirlendiği Brisbane Deklarasyonu’nun onaylanmasıyla sonuçlanmıştır.

2000’li yılların ortalarına kadar tekil nehirleri odağına alarak yapılan çevresel akış çalışmaları, bu konuda oluşan farkındalığın da yardımıyla bölgesel ve havza bazlı yaklaşımların gerekliliğini gündeme getirmiştir. Bütünleşik çevresel tehditleri

küresel ölçekte değerlendirmek için kullanılan hidrolojik modeller, yeni hidrolojik faaliyetleri hızlandırmıştır (Smakhtin ve diğ., 2004).

Akademisyenler, sivil toplum kuruluşları ve bilim insanlarından oluşan ve Ecological Limits of Hydrologic Alteration (ELOHA) olarak adlandırılan çevresel akış topluluğu tüm nehir ağlarının hidrolojik modellenmesi ve nehir türlerini akış metriklerine dayalı olarak ekolojik benzerliğe sahip sınıflara ayırma çağrısında bulunmuştur. Başta Amerika Birleşik Devletleri'nde olmak üzere, uygulamalar yaygınlaşmış ve yaklaşımın yararlılığı İspanya'da (Belmar ve diğ., 2011), Çin'de (Zhang ve diğ., 2012) ve Avustralya'da test edilmiştir (Arthington ve diğ., 2012).

Sonuç olarak 20. yüzyılın ortalarında indirgemeci bir yaklaşımla başlayıp günümüze kadar gelişerek ve ivmelenerek gelen çevresel akış kavramı, artık temel su kaynakları yönetim stratejisi olarak algılanmaktadır. Geçen 40 yılı aşkın sürede onlarca çevresel akış yöntemi ve temel yöntemlerin farklı varyasyonları geliştirilmiştir.

3.2 Çevresel Akış Yöntemleri

Çevresel akış değerlendirmesi biyologların, üzerinde hidroelektrik ve sulama barajları kurulan büyük nehirlerdeki balık türlerinin yaşamlarını devam ettirmeleri için gereken minimum akış miktarını araştırmalarıyla başlamıştır. Ancak zamanla çevresel akış miktarının sadece balık türleriyle ilgili olmadığı, bütün olarak akarsu ekosisteminin sürdürülebilirliği için gerekli olduğu düşünülmüştür.

Çevresel akış, başlangıçta basit yöntemlere dayandırılrsa da zamanla artan yöntemler ve temel yöntemlerin farklı uyarlamalarıyla çok geniş bir çeşitliliğe ulaşmıştır. Bu yöntemlerin sınıflandırılması için yapılan çalışmalar sonucunda birbirinden farklı sınıflandırma seçenekleri ortaya çıkmıştır. Örneğin, Stalnaker'ın 1990 yılında yaptığı çalışmada çevresel akış yöntemlerini “standart” ve “marjinal” yöntemler olarak ikiye ayırmıştır. Stalnaker'a göre standart yöntemler, balıkçılık için kullanımı kabul edilebilir düzeyde tutmayı amaçlayan bir akış değeri oluşturma amacıyla tasarlanan ölçüm ve yorumlama teknikleridir. Marjinal yöntemler ise balıkçılık habitatı ile akış ilişkisinin dışında akarsu hidrolojisinin de dikkate alındığı kurallar bütünüdür.

Dunbar ve arkadaşları (2001) ise Stalnaker tarafından oluşturulan marjinal yöntemler kategorisini ampirik yöntemler olarak adlandırmışlardır.

Dyson ve arkadaşları (2008), “yöntem”, “yaklaşım” ve “çerçeve” kavramlarının sınırlarını belirlemişlerdir. Buna göre yöntemler genellikle ekolojik gereksinimlerin özel değerlendirmelerini ele almaktadır. Yaklaşımlar, bu değerlendirmeleri elde etmek için uzmanların izlediği çalışma yollarıdır. Çerçeve ise bir veya daha fazla yöntemden faydalanarak ve belirli bir yaklaşımı uygulayarak çevresel akış değerlendirmesi için daha geniş bir strateji sunmaktadır.

Çevresel akışlarda en yaygın şekilde temel kabul edilen sınıflandırma 2003 yılında Tharme tarafından yapılmıştır. Buna göre çevresel akış yöntemleri dört ana kategoriye ayrılmaktadır: Hidrolojik Yöntemler, Hidrolik Derecelendirme Yöntemi, Habitat Simülasyon Yöntemleri ve Bütünleşik Yöntemler.

3.2.1 Hidrolojik yöntemler

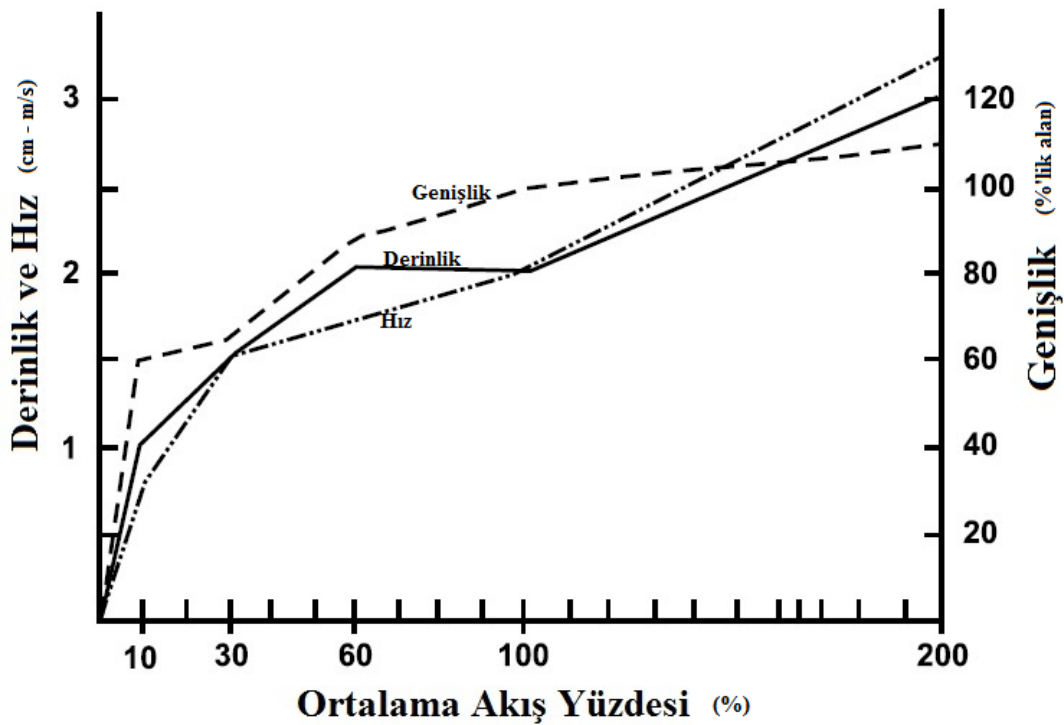
Hidrolojik yöntemlerde, akarsu boyunca belirli noktalardan ölçülen uzun dönemli (genellikle 30 – 50 yıllık) geçmiş akış verisi kullanılmaktadır. Geçmiş akış verisine dayanması sebebiyle bu yöntemlere tarihi akış yöntemleri adı da verilmektedir. Bu yöntemde kullanılan veri seti tercihe göre günlük, haftalık, 10 günlük veya aylık akış ortalamalarından oluşmaktadır. Genel olarak yöntem mevcut hidrolojik bilgiyi, akarsu karakteristiğini ve akarsu ekosisteminin sürdürülebilirliği için gereken akış miktarını dikkate almaktadır.

Hidrolojik yöntemler akış ve belirli biyolojik parametreler arasındaki ilişki yaklaşımıyla gerekli akış seviyelerini belirlemeyi amaçlamaktadır. Bu akış seviyeleri tek bir değer olabildiği gibi değişken değerler olarak da hesaplanabilmektedir. Doğrudan ölçüm yapılamayan durumlarda ise istatistiksel yöntemlerle oluşturulan veri setleri yardımıyla limit akış değerlerine ulaşılmaktadır. Temelde ortalama akış verisi kullanılarak ve genellikle akış zaman eğrisi yardımıyla minimum akış belirlenmektedir.

Başlıca hidrolojik yöntemler Tennant Yöntemi, Düşük Akım İndisleri Yöntemi, Debi Süreklilik Eğrisi Yöntemi ve Akuatik Baz Akım Yöntemi'dir.

3.2.1.1 Tennant yöntemi

Tennant Yöntemi, ülkemizdeki çevresel akış uygulamaları için de temel kabul edilen en eski hidrolojik yöntemdir. Tennant'ın Nebraska, Wyoming ve Montana'daki 11 farklı nehirde, 58 kesit alanı ve 38 farklı akım veri setiyle çalışması sonucu ortaya çıkmıştır. Bu çalışmalarda kanallar arası geçiş akışlarından elde edilen ampirik hidrolik veri kullanılmıştır. Akış ve sucul habitat uyumluluğunun tanımlanabilmesi için öznel değerlendirmelere başvurulmuştur. Tennant, sağlıklı bir akarsu ekosistemi için ortalama akışın belirli bir oranının yeterli olacağı varsayımında bulunmuştur.



Şekil 3.1 : Tennant Yöntemi ortalama akış yüzdeleri (Tennant, 1976).

Şekil 3.1'de gösterildiği gibi, çalışma sonucunda akarsu genişliği ile su hızı ve derinliğinin, ortalama akış yüzdesinin 0 – 10 olduğu aralıkta arttığı ve daha sonra artış hızının azaldığı gözlemlenmiştir. Çalışma alanındaki balık türleri için ideal alt limit olarak derinlik ve hız aralıkları değerlendirildiğinde ise bu aralıkların yıllık ortalama akışın %10 ve %30'una tekabül ettiği fark edilmiştir. Böylece Ekim – Mart arası düşük akım, Nisan – Eylül arası ise yüksek akım dönemleri olarak tanımlanmıştır.

Tennant yöntemi arazi çalışması gerektirmeden salt hidrolojik istatistiklere dayandığı için Amerika Birleşik Devletleri başta olmak üzere birçok ülkedeki çevresel akış çalışmalarına ilham kaynağı olmuştur (Reiser ve diğ., 1989). Ancak Kuzey Amerika’da yöntemin farklı akış rejimine sahip bölgelerde ve akarsularda ihtiyacı karşılamadığı fikri öne atılmıştır. Böylece Çizelge 3.1'deki düşük ve yüksek akım dönemlerinde, farklı akarsu akış miktarlarının sağlandığı aralıklara uygun olan yıllık ortalama akış yüzdeleri belirlenmiştir (Tennant, 1976).

Çizelge 3.1 : Tennant yöntemine göre ortalama akış yüzdeleri (Tennant, 1976).

AKIŞ MİKTARI	EKİM - MART	NİSAN - EYLÜL
Taşkın veya Maksimum	200	200
Optimum	60-100	60-100
Mükemmel	40	60
Çok İyi	30	50
İyi	20	40
Orta	10	30
Zayıf	10	10
Çok Zayıf	<10	<10

3.2.1.2 Düşük akım indisleri yöntemi

Tennant Yöntemi’nden sonra dünya genelinde en yaygın kullanılan hidrolojik çevresel akış yöntemi düşük akım indisleridir. Olden ve Poff (2003), sucul ekosistemlerde kullanılan hidrolojik indisleri düşük akışların büyüklük, frekans ve sürekliliğe göre listelemişlerdir. Daha sonra bu temel liste geliştirilerek farklı amaçlar için kullanılan hidrolojik indisler türetilmiştir.

Düşük akım hadiselerinin büyüklüklerine göre türetilen indislerin başında aylık minimum akış gelmektedir. Her ay için aylık ortalama minimum akışları ifade eden indisin birimi m^3/s ’dir. Günlük minimum akışların yıllık ortalamalarının, günlük ortalama akışların medyanına oranı ile boyutsuz yıllık minimum akış indisi elde edilmektedir (Wood ve diğ., 2000). Benzer şekilde günlük minimum akışların medyanının, günlük ortalama akışların medyanına oranı ile de boyutsuz yıllık minimum akış indisini elde etmek mümkündür.

Bir diğer hidrolojik indis olan daimi akış indisi için üç farklı hesaplama yöntemi geliştirilmiştir. Bunların ilki daimi akış hacminin toplam akış hacmine oranıyla elde edilmektedir (Clausen ve Biggs, 2000). İkinci hesaplama yöntemi, 7 günlük

minimum akışın günlük ortalama akışa oranını önermektedir (Richter ve diğ, 1998). Daimi akış indisi son olarak günlük minimum akışın günlük ortalama akışa oranının ortalaması alınarak belirlenen yüzdelik değer ile ifade edilmektedir (Poff, 1996).

Düşük akım hadiselerinin frekansına göre türetilen hidrolojik indisler taşkın tekerrür sayısı ve düşük akım dönüş frekansıdır. Taşkın tekerrür sayısı, akışın yıl bazında belli bir eşik değerinin altında kalma sayısını ifade etmektedir. Düşük akım dönüş frekansı ise eşik değerinin günlük ortalama akışın %5'ine eşit olduğu durumlarda gerçekleşen düşük akım dönüşü sayısının ölçüm süresine oranı ile hesaplanmaktadır (Hughes ve James, 1989).

Minimum akış indislerinin hesaplanmasında etken olan bir diğer değişken düşük akış hadiselerinin sürekliliğidir. Richter ve arkadaşları (1998), 1996 – 1998 yılları arasında yaptıkları çalışma sonucunda sıfır akım sayısı, günlük minimum ve ortalama günlük minimum indislerini geliştirmişlerdir. Buna göre sıfır akım sayısı, günlük akışın sıfır olduğu gün sayısının yıllık ortalamalarını; günlük minimum, farklı sürelerde (1 – 3 – 7 – 30 – 90 gün) gözlemlenen minimum yıllık akış büyüklüklerini; ortalama günlük minimum ise günlük minimumların medyana oranını ifade etmektedir.

Son olarak Claussen ve Biggs (2000), akışın veri süresinin %75 ve %90'ında eşik değerini aşma ihtimalinin ($Q_{75} - Q_{90}$) %50'sinde eşik değerini aşma ihtimaline (Q_{50}) oranı ile boyutsuz bir indis tanımlamışlardır.

3.2.1.3 Debi süreklilik eğrisi yöntemi

Debi süreklilik eğrisi, ortalama akış hızının belirli bir konumda belirli bir değere eşit veya bu değeri aştığı sürenin yüzdesini temsil eden kümülatif bir frekans eğrisidir. Bu eğri günlük, haftalık veya aylık akış değerlerine dayanabilir. Özellikle günlük veri kullanıldığında en iyi yaklaşımla akışın değişim aralığıyla ilgili bilgi sağlayan bir ölçüdür. Akış verisi genellikle logaritmik düzlemde veya toplam akışın yüzdesi olarak ifade edilir. Ancak debi süreklilik eğrisi, akışa bağlı hadiselerin kronolojik serisini çoğunlukla ihmal etmektedir. Debi süreklilik eğrisi, uzun vadeli veri ile oluşturulduğunda, belirli bir lokasyondaki suyun mevcudiyetinin değerlendirilmesi için yararlıdır; fakat belirli bir akış hacmi ve hızına ulaşıldığında biyotanın da önemli ölçüde etkilenmesi sebebiyle biyolojik açıdan sınırlı bir bakış açısı sunmaktadır.

Belirli bir akış seviyesinin aşılma yüzdesi ve periyodu belirlenerek temelde debi süreklilik eğrilerine dayandırılan birçok hidrolojik indis önerilmiştir (Olden ve Poff, 2003). Bunların başında 7Q10 hidrolojik indisi gelmektedir. 7Q10 çevresel akış yöntemi olarak kabul edilmekle birlikte özellikle Amerika Birleşik Devletleri'nde su kalitesi koruma çalışmalarında kullanılan bir hidrolojik istatistiktir. Temelde suyun kalite eşik değerini karşılamak amacıyla nehirde bulunması gereken minimum akış miktarını ifade etmektedir. 7Q10'un bir varyasyonu olan 7Q2 ise yedi günlük düşük akımların iki yıllık dönüş periyotlarını belirtmektedir. Bu değer, yaklaşık olarak yıllık ortalama akışın %33'üne tekabül etmektedir (Caissie ve El-Jabi, 2003).

Diğer iki hidrolojik indis Q95 ve Q90 indisleridir. Günlük akışın zamanın %95 ve %90'ında eşik değerini aşılması olarak ifade edilmektedir. Genelde on günlük veya aylık zaman aralıkları için hesaplanmaktadır. Bu indis Birleşik Krallık'taki çevresel akış hesaplamalarında, nehir tipi ve mevsime bağlı olarak sınırlı bir eşik değer olarak önerilmektedir. Bununla birlikte Birleşik Krallık Çevre Ajansı, Q95 düşük akımları ile debi süreklilik eğrisinde Q95 değerinin üzerinde kalan değerleri kullanarak farklı akış ve nehir tiplerinin doğal akıştan sapmalarını ifade eden bir çevresel akış indikatörü tanımlamıştır (UKTAG, 2008).

Birçok çalışma Q95 ve Q90 değerlerinin çevresel akış gereksinimlerini ve bazı balık türlerinin büyümesi için gereken miktar açısından uygun olduğunu savunmaktadır (Armstrong ve Nislow, 2004). Kanada'nın doğusunda yapılan bir çalışmada ise hidrolojik indisler karşılaştırılarak 7Q10, 7Q2 ve Q90'ın benzerlikleri olduğu, ancak önerdikleri düşük akım değerlerinin sucul habitat için temsiliyet gücünün yüksek olduğu gözlenmiştir (Caissie ve diğ., 2007).

3.2.1.4 Akuatik baz akım yöntemi

Akuatik Baz Akım Yöntemi'nde, düzenli ölçüm yapılamayan havzalarda yıl boyunca en düşük akım değerlerinin gerçekleştiği kabul edilen Ağustos ayına ait akımların medyanı esas alınmaktadır. Ağustos ayı akışlarının medyanı akarsuyun mansabına bırakılması gereken çevresel akış miktarı olarak kabul edilmektedir. Kısaca, istatistiksel hesaplamalar için yeterli veri bulunmadığında bir yılda kaydedilen en düşük akış seviyesinin çevresel akışa karşılık geleceği varsayımı yapılmaktadır.

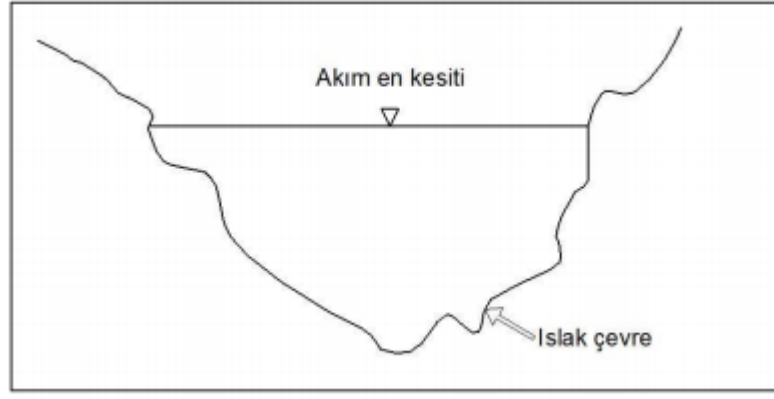
3.2.2 Hidrolik derecelendirme yöntemleri

Hidrolojik yöntemler akış rejimi ve habitat özellikleri arasındaki ilişkiye dayandırılırken, hidrolik derecelendirme yöntemleri, akış ile tek bir en kesitten ölçülen bazı hidrolik değişkenler arasındaki ilişkiye odaklanmıştır. Yöntem genel olarak genişlik, derinlik ve ıslak çevre gibi akarsu yatağı geometrisiyle ilişkilendirilmiştir.

Özellikle Kuzey Amerika'da en yaygın kullanılan üçüncü çevresel akış yöntemi, hidrolik derecelendirme yöntemlerinden biri olan Islak Çevre Yöntemi'dir. Ayrıca sonraki yıllarda Islak Çevre Yöntemi'nin geliştirilmesiyle Uyarlanmış Ekolojik Hidrolik Yarıçap Yaklaşımı Yöntemi (AEHRA), Akış Hadisesi Yöntemi gibi çok çeşitli yöntemler ve yaklaşımlar kullanılmaya başlanmıştır.

3.2.2.1 Islak çevre yöntemi

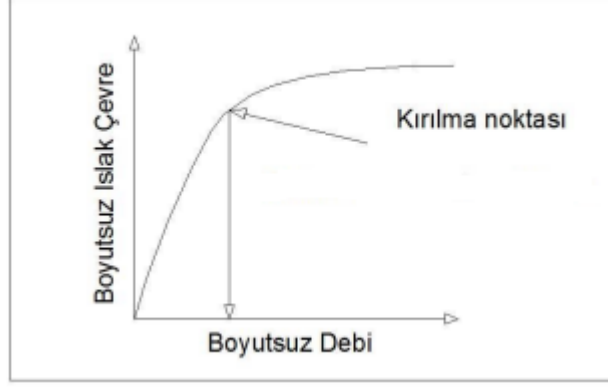
Islak Çevre Yöntemi, nehir yatağının genişleyerek su hızının ve su derinliğinin azaldığı kesitlerde, Şekil 3.2'de gösterilen ıslak çevre (akarsu yatağının suyla temas halindeki çevresi) ile debi arasındaki ilişkiyi incelemektedir. Bu amaçla, akarsuyun enkesit parametrelerinden yararlanılarak boyutsuz debi ve boyutsuz ıslak çevre büyüklükleri hesaplanmaktadır.



Şekil 3.2 : Islak çevre.

Boyutsuz debi ve boyutsuz ıslak çevre değerleriyle çizilen ve Şekil 3.3'te gösterilen grafiğin kırılma noktasına karşılık gelen boyutsuz debi değerinden yararlanılarak hesaplanan debi, çevresel akış miktarı olarak tanımlanmaktadır. Kırılma noktasından önce debide meydana gelen küçük değişimler ıslak çevrede, dolayısı ile sucul canlıların yaşam alanlarında büyük değişimlere neden olmaktadır. Kırılma noktasından sonra ise debide meydana gelen büyük değişimler ıslak çevrede ihmal edilebilir değişime neden olmaktadır. Islak Çevre Yöntemi ile hesaplanan çevresel akış miktarının seçilen enkesitteki ekolojik hayatın devamı için yeterli olması halinde akarsuyun diğer kesitlerinde de yeterli olacağı varsayımı yapılmaktadır. Kırılma noktası boyutsuz ıslak çevre – boyutsuz debi eğrisinin eğiminin bire eşit olduğu nokta olarak tanımlanmaktadır.

Islak Çevre Yöntemi'nin çok kapsamlı bir alan çalışmasını gerektirmemesi, kullanımının kolay olması ve hızlı bir hesaplama yapmaya olanak sağlaması gibi avantajları vardır. Bununla birlikte yöntemle sadece çevresel akış miktarı hesaplanabilmektedir. Bu nedenle akarsudan su çekilmesi durumunda ekosistemin nasıl etkileneceği ve bu etkinin şiddeti ve büyüklüğü belirlenememektedir.



Şekil 3.3 : Islak çevre – debi ilişkisi.

3.2.2.2 Uyarlanmış ekolojik hidrolik yarıçap yaklaşımı yöntemi (AEHRA)

AEHRA yönteminde, habitatı temsilen hidrolik yarıçap kullanılmaktadır. Kullanılan hidrolik yarıçap, akarsu enkesit gözlemleri ve minimum ekolojik hızın en büyük değerine göre değişmektedir. Hidrolik yarıçapın hesaplanmasında Manning akış direnci eşitliği kullanılmaktadır. AEHRA yöntemine göre minimum ekolojik hız değerinin, akarsu ekosistemine ait bileşenlerin birincil faaliyetlerini yerine getirebilmesi için gereken minimum hız değeri olduğu varsayılmaktadır (Liu ve diğ., 2011). Minimum hız değerinin belirlenmesiyle birlikte çevresel akışı temsil eden akış debileri hesaplanmaktadır.

3.2.2.3 Akış hadisesi yöntemi

Akış hadisesi yönteminin geliştirilmesinde öncelikle akış olaylarının biyolojik ve jeomorfik süreçler üzerindeki etkisi göz önünde bulundurularak akış değişkenleri ve çevresel akış uygulamalarının sınıflandırılması için bir yaklaşım öne sürülmüştür (Stewardson ve Gippel, 2003). Bu yöntem genel olarak çevresel akış önerisi için mevcut doğal akış bilgisini referans alarak akış süreçlerindeki doğal dinamikleri açıklamayı hedeflemektedir. Yöntemin işleyişi beş adımdan oluşmaktadır: 1) su baskını, çözünmüş gazların ve diğer çözünmüş maddelerin karışımı, inorganik sedimentin ve organik içeriğin taşınımı gibi akışlarda önemli bir rol oynayan ekolojik faktörlerin listelenmesi, 2) her bir akış olayı ile zamansal dağılımının sınıflandırılması ve hidrolik parametreler kullanılarak değerlendirilmesi, 3) tek boyutlu hidrolik modeller kullanılarak hidrolik benzerliklerin modellenmesi, 4) akış

yönetimi projeksiyonlarının değerlendirilmesi, 5) çevresel akış yöntemi metodolojisinin ve hedeflerinin belirlenmesi.

3.2.3 Habitat simülasyon yöntemleri

Habitat Simülasyon Yöntemleri; Habitat Modelleme Yöntemleri, Habitat Derecelendirme Yöntemleri ve Mikrohabitat Yöntemleri olarak da adlandırılmaktadır (Loar ve diğ., 1986). Bu yöntemler hidrolik yöntemlerin geliştirilmesiyle ortaya çıkmış olup çevresel akışın belirlenmesi için belirli habitat gereksinimlerini değerlendirmektedir. Derinlik ve hız gibi fiziksel habitat özelliklerinin akışla doğrudan ilişkili olduğu ancak akarsu yatağının alt tabakası ve örtü çeşidi gibi özelliklerin akışla dolaylı bir ilişkisi olduğu düşünülmektedir.

Bu yöntemler, akış rejimi ile çeşitli sucul türlere ait fiziki habitatın diğer çevresel özellikleri arasındaki ilişkiyi kurmak için çeşitli modeller kullanmaktadır. Habitat Simülasyon Yöntemleri, hidrolik yöntemlerden bir akış boyunca mikrohabitatlara ait hidrolik özellikleri tanımlamak adına alınan çoklu enkesitlerden elde edilen verilerin kullanılması; böylece fiziksel habitata ait hidrolik özelliklerin nicelleştirilebilmesi sebebiyle farklılık göstermektedir (Tharme, 2003).

Habitat Simülasyon Yöntemleri'nin büyük bir çoğunluğu Amerika Birleşik Devletleri'nde geliştirilmiştir. İlk olarak 1970'lerin sonunda Amerika Birleşik Devletleri Balık ve Vahşi Yaşam Hizmetleri organizasyonunun alt gruplarından biri olan Akıntı Akış Hizmet Grubu'nun çalışması olarak ortaya çıkmışlardır. Çalışma sonucunda bu yöntemlerin, çevresel akış konusunda mevcut en bilimsel ve bürokratik açıdan savunulabilir yöntem olduğu kararı verilmiştir. Habitat Simülasyon Yöntemleri sonraki yıllarda daha karmaşık modelleme yaklaşımlarının geliştirilmesine katkı sağlamışlardır. Bu yaklaşımlardan en yaygın kullanılanı Akış Artırma Yöntemi (IFIM)'dir.

3.2.3.1 Akış artırma yöntemi (Instream Flow Incremental Methodology–IFIM)

IFIM, farklı su yönetimi anlayışlarının akarsu habitatını etkileyebilecek sonuçlarının değerlendirilmesine yardımcı olan bir analiz sürecidir. Bu analiz sürecinde makro ve mikro habitat özelliklerinden yararlanılır. Makro habitat özellikleri içerisinde, suyun kalitesi, akarsu yatağının yapısı ve sıcaklık gibi akış aşağısındaki birçok parametre

kullanılmaktadır. Mikro habitat özellikleri ise derinlik, akıntı hızı ve substrat gibi bileşenleri içermektedir. IFIM analizi ayrıca su kalitesi, sediment, akarsu yatağının stabilitesi, sıcaklık, hidroloji ve balık üretimini etkileyebilecek diğer faktörleri içerebilir. Makro habitat düzeyinde akış; sıcaklığı, su kalitesini, akarsu yatak yapısını etkilemektedir. Mikro habitat düzeyinde ise akış ve akarsu yatak yapısı; derinlik, hız ve substrat karakteristiğini etkilemektedir. Makro ve mikro habitat tahminleri, toplam habitat ürününü oluşturmaktadır.

IFIM'in en büyük bileşenini Physical Habitat Simulation (PHABSIM) diye adlandırılan bilgisayar modeli oluşturmaktadır. Bu model hidroloji, akarsu morfolojisi ve mikrokabitat özelliklerini kullanarak akarsu akışları ile habitat uygunluğu arasındaki ilişkiyi ifade etmeyi amaçlamaktadır (Bovee, 1982).

IFIM Yöntemi ile çevresel akışların belirlenmesinde beş temel aşama bulunmaktadır: 1)Problemin tanımlanması, 2)Çalışmanın planlanması, 3)Uygulama, 4)Alternatif çalışmaların analizi, 5)Karar.

Beş adımlık bu döngünün ilk adımında; konunun paydaşlarını, bilgi ihtiyaçlarını, görece etkilerini ve karar sürecini tanımlayan yasal ve kurumsal bir analiz ile fiziksel ve kimyasal değişimlerden etkilenmesi beklenen nehir ekosisteminin lokasyonunu ve arazi genişliğini belirlemek için kapsamlı bir biyofiziksel analize ihtiyaç duyulmaktadır. Bununla birlikte problemin tanımlanması, ilgili devlet kurumlarının ve paydaşların bir araya gelerek projenin kapsamını belirlemesini gerektirmektedir.

İkinci adımda ise çalışmanın kapsamlı planının yapılması amaçlanmaktadır. İlk olarak mevcut bilgiler ışığında her paydaş grubunun bilgi ihtiyaçlarının belirlenmesi ile başlanmaktadır. Ardından çalışmanın bütçe ve zaman çizelgesi belirlenerek her paydaş grubunun görev ve sorumlulukları kesin hale getirilmektedir.

Bu adımda kullanılacak veri setinin hazırlanması ve planlanması da önem arz etmektedir. Çalışmaya esas olan hidrolojik zaman serileri genellikle güncel su kullanımını temsil eden sentetik zaman serileri olarak seçilmektedir.

Üçüncü adım; veri toplama, model kalibrasyonu, tahmin simülasyonu ve sonuçların sentezini içermektedir. Süreç boyunca çalışmanın kalite güvencesi, alternatif akış rejimlerinin simülasyonu sırasında çalışma alanı içerisindeki toplam habitatın güvenilir olmasıyla sağlanmaktadır. Bu adımda amaç; sıcaklık, pH ve akış hızı gibi farklı hidrolik parametrelere ve su kalitesine sahip örneklerden elde edilen zaman

serileri kullanılarak akış – habitat ilişkisini hesaplamaktır. Böylece hesaplanan akış – habitat ilişkisi tahminlerinin yanı sıra seçilen başlangıç koşulları ve çeşitli proje alternatifleri yardımıyla en uygun çevresel akış miktarına da ulaşılmaktadır.

Dördüncü adım, paydaşlar tarafından tanımlanan proje alternatiflerinin karşılaştırılması ve değerlendirilmesini kapsamaktadır. Burada her bir alternatifin muhtemel etkileri araştırılmaktadır.

Son aşamada ise disiplinlerarası uzman ekipleri, çevresel akış ihtiyacını değerlendirmek ve genellikle çelişen çıkarlar arasında müzakere edilmiş bir anlaşmaya varmaya yardımcı olmak için biyolojik kaynaklar ve sosyal ihtiyaçlar hakkındaki mesleki yargılarını belirtmektedir.

Ülkemizdeki baraj projeleri öncesinde hazırlanması zorunlu tutulan Ekosistem Değerlendirme Raporu, izlenen adımlar yönünden IFIM Yöntemi ile benzer bir sürece tabiidir. Ancak IFIM Yöntemi temelde hidrolojik modellere dayanırken, ülkemizdeki çevresel akış uygulamaları ile Ekosistem Değerlendirme Raporu gibi yasal gereklilikleri önceden de ifade edildiği üzere standart bir yöntemi esas almaktadır.

3.2.3.2 PHABSIM

PHABSIM, farklı akış seviyelerinde mevcut olan mikrohabitat miktarı için uygun bir indeks hesaplamak amacıyla tasarlanmış özel bir modeldir. Modelin işleyişi, farklı yaşam döngüsüne sahip sucul türlerin değişen habitat koşullarındaki devamlılığı için gereken akış – habitat ilişkisine dayanmaktadır. Ayrıca, hidrolik habitat alanındaki akış dalgalanmalarındaki değişiklikleri göstermektedir.

PHABSIM iki temel analitik bileşene sahiptir: akarsu hidroliği ve yaşam döngüsüne özgü habitat gereklilikleri. Akarsu hidroliği bileşeni bir akarsu enkesitindeki derinlik ve akış hızı tahmini ile ilişkilidir. Bu bileşen için gereken derinlik, hız, substrat içeriği gibi değişkenler farklı akışlar için birden fazla enkesitten toplanan veriyle hesaplanmaktadır. Modelde kullanılan bu veri seti ise akarsuda yapılan hidrolik ölçümler ile kalibre edilmektedir.

Hidrolik modeller iki önemli adımda çalıştırılmaktadır. İlk adımda, belirli bir akış için su yüksekliği hesaplanmaktadır. Böylece su yüksekliği değeri kullanılarak

derinliği tahmin etmek amaçlanmaktadır. İkinci adımda ise her bir enkesit için hız değeri üretilmektedir. Her bir adım için veri setinin uygunluğuna göre farklı modelleme tekniği kullanılabilmektedir.

Yaşam döngüsüne özgü habitat gerekliliği bileşeni, her bir akış hücresinde, tüm habitat özniteliği için 0 ile 1 arasında göreceli bir değeri atamaktadır. Atanan bu değeri yardımıyla, sucul organizmaların belirli yaşam aşamaları için uygunluğunu belirten habitat uygunluk indeksleri oluşturulmaktadır. Bu indeksler doğrudan gözlem, uzman yorumu ya da ikisinin birleşimi ile belirlenmektedir.

Sonuç olarak hidrolik bileşen yardımıyla tahmin edilen derinlik ve hız değeri, habitat uygunluğu değeri ile birleştirilerek çevresel akış değeri üretilmektedir. Ancak PHABSIM, akışın akarsu yatağında meydana getirdiği değerişikliğe dair yorum getirememesi sebebiyle akarsu yatağının değerişmediği varsayımında bulunmaktadır.

3.2.4 Bütünleşik yöntemler

Bütünleşik yöntemler terimi tüm akarsu ekosistemini ilişkilendiren yöntemleri ifade etmektedir. Bu bakış açısına göre çevresel akış gereksinimi, birkaç fiziksel özellik ve organizmaya odaklanmak yerine sulak alanlar ve yeraltı suyu da dahil olmak üzere akarsu ekosisteminin tüm abiyotik ve biyotik bileşenleri için değerlendirilmektedir.

Bütünleşik yaklaşımlar ya da yöntemler, çeşitli sebeplerle değerişikliğe uğramış ancak mekansal ve zamansal değerişkenliklerine rağmen geçmiş akış rejimlerine benzeyen akış rejimlerinin, akış morfolojisini, habitatlarını, akarsuda bulunan her türlü organizmayı ve bunların birbirleriyle etkileşimlerini sürdürmek için gerekli olduğu varsayımına dayanır.

Bütünleşik yaklaşımın temeli, aşağıdan yukarıya veya yukarıdan aşağıya doğru bir süreçle, değerişikliğe uğramış bir akış rejiminin sistematik olarak yeniden inşa edilmesidir. Aşağıdan yukarıya doğru süreçte, her bir öğenin, akış rejiminin iyi tanımlanmış belirli ekolojik ve jeomorfolojik özelliklerini temsil ettiği bir hedefe ulaşması amaçlanmaktadır. Bu sebeple ay ay ve element element, değeriştirilmiş bir akış rejimi oluşturulmaktadır (Tharme, 2003).

Yukarıdan aşağıya doğru süreç ise doğal akış rejiminden kabul edilebilir derecede sapan çevresel akışları tanımlamaktadır. Bu kabul edilebilirlik aralığında yer alan her bir sapma değeri için farklı senaryolar dikkate alınmaktadır.

3.2.4.1 Building block yöntemi (BBM)

Bütüncül bir yaklaşıma duyulan ihtiyaç ilk olarak 1990'ların başlarında Güney Afrika ve Avustralya'da neredeyse aynı anda hissedilmiştir. Yaklaşım, çevre için su tahsisi konusunda uluslararası seminer ve atölye çalışmaları sırasında kavramsallaştırılmıştır.

Bununla birlikte BBM, Güney Afrika'da 1991-1996 yıllarında organize edilen çalıştaylarda su kaynaklarının geliştirilmesi ve yönetimi konularında, üzerinde çalışılan birçok akarsu için çevresel akış gereksinimlerinin hızlı bir şekilde tahmin edilmesinin altını çizmiştir. Bu bağlamda Güney Afrika Su İşleri ve Orman Dairesi tarafından yürütülen saha çalışmalarıyla sonucunda metodolojisi ve sonuçları ile birlikte yöntemin ana hatları oluşturulmuştur.

BBM yönteminin temelindeki anahtar kavram, bir nehrin akış rejiminin zamanlama, süre, frekans ve büyüklükleri açısından belirgin bir şekilde tarif edilebilen bileşenlere ayrılabilmesidir. Akışın yapı taşları olarak adlandırılan bu bileşenler genellikle şu kategorilere girmektedir: Kurak mevsim düşük akışı, ıslak mevsim düşük akışı, ıslak mevsim taşkınları, kuru mevsim tazelikleri ve kuru mevsim yüzeyaltı akışı. Akışın her bir yapı taşı, akarsu ekosistemlerinde ekolojik ve jeomorfolojik açıdan önemli bir rol üstlense de bazıları diğerlerine göre daha önemli bir yere sahiptir. Bu sebeple her bir yapı taşı için gerekli olan minimum su hacmi tanımlanmaktadır. Bu tanımlamalar doğrultusunda müdahale sonrası değişen akış rejimleri, doğal akış rejimini temsil edecek şekilde birleştirilerek elde edilmektedir.

BBM'in temel yaklaşımı, hidrografi mevcut verilere ve uzman kararlarına dayandırarak bir bütün olarak incelemeyi ve risk oluşturan durumlarda akarsu ekosistemini koruyacak genel bir akış rejimini belirlemeyi kapsamaktadır. Bu sebeple her bir risk seviyesi için kullanılmak üzere Ekolojik Yönetim Sınıflandırması oluşturulmuştur (Brown ve diğ., 2008). Ekolojik Yönetim Sınıflandırması'nda dört risk sınıfı bulunmaktadır. Çizelge 3.2'de gösterilen her risk sınıfının su kalitesi, akış habitatu, akarsu çevresi ve biyota üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu sınıflandırma sistemi BBM Yöntemi'nde de etkin şekilde kullanılmaktadır.

Sınıflandırmada yer alan kategoriler (A, B, C, D) sırasıyla 'ihmal edilebilir doğal değişimler', 'düşük toleranslı biyota için hafif riskli', 'düşük toleranslı biyota için orta riskli', düşük toleranslı biyota için yüksek riskli' olarak adlandırılmaktadır.

İhmal edilebilir doğal değişimleri ifade eden A kategorisinde su kalitesi açısından hem doğal değişimler hem de hassas türlerin maruz kaldığı risk seviyesi ihmal edilebilmektedir. Akış habitatı açısından ise akışa ve kalite hedeflerine bağlı olarak doğal şartlardan kaynaklanan risklerin ihmal edilebilirliği kabul görmüştür. A kategorisinde ayrıca akarsu çevresindeki arazi kullanımına bağlı olarak akarsu kıyılarından belirli bir uzaklığa kadar olan alanda gerçekleşen bitki örtüsü değişimleri ihmal edilebilmektedir. Biyotaya bağlı risk faktörlerinde ise South African Scoring System (SASS) gibi indeksler kullanılarak ihmal edilebilirlik seviyeleri belirlenmektedir.

Ekolojik Yönetim Sınıflandırması'nın B, C ve D kategorilerindeki risk seviyelerinin belirlenmesinde Target Water Quality Range (TWQR) ve Chronic Effects Value (CEV) kriterleri kullanılmaktadır. Bu bağlamda, belirtilen kriterlere göre su kalitesi, akış habitatı ve akarsu çevresi ve düşük toleranslı biyota için hafif, orta ve yüksek risk teşkil eden şartlar Ekolojik Yönetim Sınıflandırması'nın sırasıyla B, C ve D kategorilerinde değerlendirilmektedir.

Çizelge 3.2 : Ekolojik yönetim sınıflandırması.

Kategori	Su Kalitesi	Akış Habitatu	Akarsu Çevresi	Biyota
A	İhmal edilebilir doğal değişimler ve hassas türler için düşük risk	Akışa ve kalite hedeflerine bağlı ihmal edilebilir doğal şartlar	Akarsu kıyılarından belirli bir uzaklığa kadar olan alanda ihmal edilebilir bitki örtüsü değişimleri	SASS indeklerine göre referans koşullarından ihmal edilebilir biyota değişimleri
B	TWQR ve CEV kriterlerine göre hassas biyota için düşük risk	Akışa ve kalite hedeflerine bağlı düşük risk	Doğal şartlara göre küçük değişimler	Referans koşullarına göre küçük değişimler (büyük ölçüde biyota kaybı)
C	TWQR ve CEV kriterlerine göre hassas biyota için orta risk	Akışa ve kalite hedeflerine bağlı orta risk	Doğal şartlara göre orta değişimler	Referans koşullarına göre orta değişimler (bazı bölgelerde topyekün biyota kaybı)
D	TWQR ve CEV kriterlerine göre hassas biyota için yüksek risk	Akışa ve kalite hedeflerine bağlı yüksek risk	Doğal şartlara göre büyük değişimler	Referans koşullarına göre büyük değişimler (biyotanın tamamen kaybı)

BBM yöntemi kullanılarak çevresel akış belirleme süreci dokuz adımda gerçekleşmektedir. İlk olarak akışı temsil eden on yıllık periyotta günlük akış zaman serileri oluşturularak referans doğal akış rejimi tanımlanmaktadır. Tanımlanan doğal akış rejimi yüksek, orta ve düşük akımlar olmak üzere üç alt kategorinin

büyüklikleri, frekansları ve süreleri bakımından analiz edilmektedir. Sonraki adımda biyolojik ölçüm verisi ve gerekirse modeller kullanılarak akış rejimine bağlı olarak içinde yaşayan biyolojik canlı türleri ve bu türlerin akarsuyun referans koşullarındaki muhtemel yaşam süreleri belirlenmektedir. Bu noktada her bir canlı türünün muhtemel yaşam süreleri için gereken akış rejimi ihtiyaçları göz önünde bulundurulmaktadır. Canlı türlerinin ihtiyaçlarını belirlemede bu konuda daha önce yayınlanmış literatürden faydalanılmaktadır. Burada önemli olan geçmiş veriyle birlikte akış rejiminin her bir bileşeninin tanımlanarak canlı türlerinin ihtiyaçlarının teyit edilmesidir.

Bir diğer önemli nokta ise akış rejimi bileşenlerinin canlı türünün ihtiyaçlarının yanında su kalitesi, sıcaklık ve sediment yükü gibi değişkenlerle olan ilişkisinin de incelenmesidir. Tüm bu ön hazırlıkların tamamlanmasının ardından akışın yapı taşları tanımlanmaktadır. Her bir yapı taşı için önerilen çevresel akış miktarı kayıt altına alınmaktadır. Sonuç olarak uygulamanın başında yapılan analizler süreç boyunca her bir yapı taşı için tekrarlanarak çevresel akış miktarının akarsudaki ihtiyacı karşılayıp karşılamadığı takip edilmektedir.

3.2.4.2 Desktop reserve modelleri (DRM)

BBM Yöntemi'yle birlikte Güney Afrika'da çevresel akış uygulamaları konusunda yapılan çalışmalar hız kazanmıştır. Çevresel akış uygulamalarının temelini oluşturan hidrolojik modelleme ve bu modellerin daha geniş zamansal ve mekansal ölçekteki entegrasyonu için yapılan çalışmalar araştırmacıların önceliği haline gelmiştir. Bu bağlamda Rhodes Üniversitesi tarafından benzer bir yaklaşımla yeni bir model geliştirilmiştir (Hughes ve Munster, 2000).

Bu model aylık akış verisini kullanarak normal ve kurak yıllarda, toplam çevresel akıştan yüksek ve düşük akımları ayırmaktadır. Bu işlem sırasında hidrolojik indeksler ve baz akım indeksleri kullanılmaktadır. Toplam çevresel akış, yıllık ortalama akışın sabit bir aylık yüzdesi olarak hesaplanmaktadır (Smakhtin, 2006).

Bir diğer hidrolojik model rezervuar salınımlarının planlanması için geliştirilmesine rağmen tekrar düzenlenerek günlük çevresel akış miktarlarının belirlenmesi amacıyla kullanılmaya başlamıştır (Hughes ve diğ., 1997). Bu model esasen DRM'in günlük zaman adımı değerlerine tekabül eden bir versiyonudur.

Düşük akımları odağına alan bir diğer DRM, Flow-Stressor Response modelidir. Model temelde düşük akışlar ile su stresi arasındaki ilişkiye dayanmaktadır. Buna göre en yüksek stres seviyesinin, biyotanın hayatta kalmasının mümkün olmadığı akış habitatı koşullarında olduğu kabul edilmektedir. Akarsu ve çevresi için gereken çevresel akış miktarı model hesaplamalarından elde edilen kritik stres seviyelerinin altında kalacak şekilde belirlenmektedir (O'Keefe ve diğ., 2002).

3.2.4.3 DRIFT (Downstream Response to Imposed Flow Transformation)

DRIFT'in temel mantığı, bir akarsuyun akış rejiminin farklı bileşenlerinin, akarsu ekosisteminde farklı reaksiyonları ortaya çıkarması sebebiyle, akış rejiminin belirli bir bileşeninin modifikasyonunun dahi bir diğer bileşenin modifikasyonu olacak şekilde akarsu ekosistemini etkileyebilmesidir.

DRIFT'in ilk çıkışı Güney Afrika Su İşleri Departmanı'nın sucul ekosistemlerin yönetiminde belirli bir çevresel akış yöntemine ihtiyaç duymasıyla gerçekleşmiştir. Yöntem Güney Afrika'daki Palmiet ve Breede nehirleri üzerinde uygulanan su kaynakları geliştirme projelerinden yola çıkılarak geliştirilmiştir (Brown ve diğ., 2008). Farklı çevresel akış miktarlarını temel alan birçok senaryoların incelenmesi sonucunda her bir senaryoda meydana gelebilecek çevresel etkilerin yanı sıra sosyoekonomik etkileri de dikkate almaktadır. Yıl boyunca akış rejiminin, akarsu ekosisteminin canlı ve cansız tüm kısımlarına olan etkisini, kaynağından denize kadar takip eden bütüncül bir yaklaşım izlenmektedir. Bu yaklaşım, müdahaleler sonucunda akışın değiştirilmesiyle oluşabilecek değişikliklerin tahmini için geçmiş verisini, uzman yorumlarını ve ilgili akarsuyun yerel bilgisini birleştiren senaryo tabanlı bir yaklaşımdır. Ayrıca bu değişikliklerin akarsu çevresindeki sosyal ve ekonomik etkilerini de tahmin etmeyi amaçlamaktadır.

BBM yöntemi geçmiş akış verisine ihtiyaç duyarken DRIFT farklı olarak güncel hidrolojik veriye dayanmaktadır. Burada doğal akış rejimi, geçmişte gerçekleşen değişikliklerin niteliğinin değerlendirilmesinde kıyas amacıyla kullanılmaktadır. BBM'in aksine DRIFT yönteminde yukarıdan aşağıya yaklaşımı esas alınmaktadır. Mevcut akış rejimi başlangıç noktası kabul edilerek akarsu hacminin, akarsuyun tüm kollarında farklı şekillerde değiştirilmesinin sonuçları açıklanmaktadır.

DRIFT yöntemi dört modülden oluşmaktadır. Biyofiziksel modül, akarsu ekosistemini tanımlayarak akıştaki değişimlere bağlı olarak gerçekleşen ekosistem değişiklikleri için kapsam geliştirmektedir. Sosyo-ekonomik modül ise akarsu çevresinde yaşayan ve akarsu kaynaklarından faydalanan nüfus ile bu kaynaklar arasındaki ilişkiyi konu edinmektedir. Ayrıca bu modülde akarsudaki değişikliklerin çevresinde yaşayan insanlara etkisi de incelenmektedir. Senaryo modülü, muhtemel gelecek akışlarıyla ilgili senaryolar üreterek her bir akış senaryosunun akarsu ekosistemi ve akarsu çevresindeki nüfus üzerindeki etkisini tasavvur etmektedir. Son olarak ekonomik modül, akarsu ve çevresindeki akış değişikliğine bağlı etkilerin tazminat ve risk azaltma maliyetleri yönünden ekonomik yansımalarını değerlendirmektedir.

3.2.4.4 ELOHA (Ecological Limits of Hydrological Alteration)

ELOHA, farklı tür akış rejimlerine sahip akarsularda, akış değişikliği-ekolojik tepki korelasyonu oluşturmak için bir bölgedeki birçok akarsudan gelen mevcut hidrolojik ve ekolojik veriyi sentezlemektedir. Bu korelasyon, su kullanımı stratejileri ve politikaları yoluyla yönetilebilen akış koşullarında doğrudan yönetilmesi zor olabilecek ekolojik ölçütler ile ilişkilidir.

Yöntem temelde iki bileşenden oluşmaktadır: bilimsel süreç, sosyal süreç. Bilimsel süreç ilk olarak günlük veya aylık akış verisinin hidrolojik modeller yardımıyla analizi ile başlamaktadır. Verinin ayrıca su kaynakları geliştirme uygulamalarından etkilenecek alanlar açısından da analiz edilmesi gerekmektedir. Burada önemli olan verinin bir bölgedeki çok sayıda akarsu segmentinden, 30 yıl veya daha uzun bir zaman dilimi için elde ediliyor olmasıdır. Akarsuyun ölçüm yapılamayan kısımlarından kaynaklanan eksik verinin hidrolojik modelleme teknikleriyle tamamlanmasıyla da daha uzun veri setine ulaşılabilmektedir. Böylece verinin uzun vadeli iklim değişkenliği şartlarını da kapsayacak şekilde bölgeyi temsil etmesi sağlanmaktadır.

Bilimsel sürecin bir sonraki adımı, akarsuları akış rejimlerine göre sınıflandırmaktır. Bunun için öncelikle farklı akış rejimleri arasında ayırım yapmak için ekolojik olarak benzer akış istatistikleri kullanılmaktadır. Daha sonra ise benzer akış istatistiklerine sahip olanlar jeomorfik özelliklerine göre alt gruplara ayrılmaktadır. Bunu su yönetimi hedeflerini belirlemek için de kullanılan, ekolojik olarak benzeşen en

önemli akış istatistikleri kullanılarak hidrolojik değişim derecesinin hesaplanması takip eder. Bu süreçteki son adım, ekolojik koşullardaki herhangi bir değişiklik ile akış değişikliği arasındaki ilişkinin tanımlanmasıdır. Bu adımda tanımlanan ilişkinin izlenebilir olması ve paydaşlar tarafından kolayca anlaşılabilir olması gerekmektedir.

Sosyal Süreç, akarsuyun yukarı veya aşağı akış yönünde değişen akış rejimlerinden etkilenecek olan paydaşlarla diyalog kurulması gerekliliğiyle ilgilidir. Bu sürecin amacı, paydaşların su kullanımı ve ekolojik bozulma gibi konular hakkında kolektif ve bilimsel olarak temellendirilmiş bir bilince sahip olmalarıdır. Bu bağlamda her akarsu kolunun ve erişim noktalarının ekolojik, sosyal ve kültürel değerlerinin korunması veya restorasyonu için danışma süreci niteliğinde paydaş toplantılarının düzenlenmesi önerilmektedir.

Bir sonraki adımda, her bir akış değişikliği için benzeşen ekolojik tepki derecesi korelasyonları kullanılarak birbirine karşılık gelen akış değişikliği – ekolojik tepki derecesi ikilileri belirlenmektedir. Hedeflenen ekolojik tepki derecesi koşulunu sağlayan akış değişikliği, akarsu için uygun olduğu öngörülen çevresel akış miktarını tayin etmektedir.

Bilimsel süreçte geliştirilen hidrolojik modeller, proje alanındaki ekolojik hedeflere ulaşılmasına yönelik olan uygulamalarda pratik sınırlamaların ve fırsatların değerlendirilmesi için kullanılmaktadır. Hidrolojik model ayrıca barajın yeniden işlenmesi ve yeraltı suyu ile yüzey suyunun entegre yönetimi gibi akış restorasyon seçeneklerinin belirlenmesine ve önceliklendirilmesine yardımcı olmaktadır.

ELOHA çerçevesi, Amerika Birleşik Devletleri'nde ve diğer birkaç ülkede yaygın olarak kullanılmış ve test edilmiştir. Avustralya'daki Tropik Nehirler ve Kıyı Bilgisi araştırma programı ELOHA'yı Avustralya için hidrolojik rejimlerin kıta ölçekli ekolojik ve hidrolojik sınıflandırması (Pusey ve diğ., 2009), akarsu tipleri ve akış ilişkileri sınıflandırması gibi çevresel akışla ilgili çalışmalarda kullanmıştır. Son zamanlarda Avrupalı bilim insanları Çin'deki çevresel akış değerlendirmelerini geliştirmek için temel oluşturmak üzere akış rejimi sınıflandırması çalışmalarında Çinli araştırmacılarla işbirliği yapmaktadırlar (Zhang ve diğ., 2012).

3.3 Çevresel Akış Yöntemlerinin Güçlü / Zayıf Yönleri

3.3.1 Hidrolojik yöntemlerin güçlü/zayıf yönleri

Akış kayıtlarına dayalı hidrolojik yöntemler, genellikle yalnızca tarihsel akış kayıtlarını gerektiren, ucuz ve hızlı uygulanabilen yaklaşımlardır. Bu nedenle, su kaynakları geliştirmenin planlaması aşamasında, çevresel akış miktarlarının rutin, basit ama düşük çözünürlüklü tahminlerini sağlamak için son derece uygundur. Daha karmaşık yöntemler, özellikle ekolojik olarak uygun hidrolojik indeksleri kullananlar, akarsu tiplerine dayanan sınıflandırma ve bölgeselleştirme yöntemleri üretmek için modifiye edilmeye ve aynı zamanda yararlı bir izleme işlevi sağlayabilmektedir. Ek olarak, bu yöntemlerden türetilen hidrolojik indeks grupları, BBM Yöntemi'nde yapıldığı gibi bütüncül yöntemlerin alt bileşenleri olarak dahil edilebilmektedir. Son olarak, hidroloji temelli yöntemlerin gelecekte hızlı bir şekilde yaygın değerlendirme yöntemleri olarak kullanılmaya devam edeceği öngörülmektedir. Dolayısıyla dünya çapında bu yöntemleri geliştirmek için artan çabalarla uluslararası olarak tanınmaya devam etmesi muhtemeldir.

Diğer yandan ekolojik bir perspektiften bakıldığında, bu tip bir yöntem, akarsuyun hidrolojik rejiminin dinamik ve değişken yapısını yeterince ele almadığı için özellikle basittir. Üstelik düşük akışların uzun vadeli etkileri, tarihsel kayıtlardaki anlık olayların yansıttığı ve doğal olarak meydana gelen nadir, kısa süreli etkiler ile kısmen aynıdır. Hidrolojik yöntemler uygulamaların çoğunda, girdi olarak kullanılan ekolojik bilginin mevcut olmaması sebebiyle oldukça sınırlıdır. Bu durum yöntemlerin esnekliklerini, çözünürlük derecelerini ve diğer yöntem türlerine göre kullanım kapsamını kısıtlamasının yanı sıra hidrolojik yöntemleri önemli eleştirilere açık hale getirmektedir.

Ayrıca yöntemin hesaplama sonuçlarının sıklıkla oluşturduğu düşük çözünürlüklü ve tekil rakamların, ekolojik etkileri yeterince dikkate alınmadan, farklı ülkeler, coğrafi bölgeler ve akarsu tipleri için rutin olarak uygulanması riski oluşturmaktadır. Bu nedenle böyle yöntemler kullanıldığında mesleki yargı ve konusunda uzman kişilerin subjektif yorumuna ihtiyaç duyulmaktadır. Bu gibi zayıf yanlar sebebiyle yalnızca planlama aşamasında uygun olan hidrolojik yöntemler, karar verme sürecine herhangi bir müzakerenin dahil olmadığı durumlarda dezavantajlı hale gelmektedirler.

3.3.2 Hidrolik derecelendirme yöntemlerinin güçlü/zayıf yönleri

Hidrolik derecelendirme yöntemleri, ekolojiye dayalı bilgileri biyotanın fiziksel yaşam alanı olan bilgi akışına dahil ettikleri için tamamen hidroloji temelli olanlara göre bir ilerleme olarak düşünülebilmektedir. Omurgasızların üremesi ve balık yumurtlaması gibi ekolojik gereksinimler açısından bu tür habitat alanlarının sürdürülebilirliği için oldukça basit bir akış değerlendirmesi yapılmasını sağlamaktadır. Aynı zamanda birçok sucul tür için uygulanabilecek kadar esnek olmakla birlikte yalnızca düşük veya orta derecede kaynak gereksinimi vardır. Ayrıca tüm akış türlerinde bölgesel veya havza bazında kullanılabilmektedirler.

Bununla birlikte hidrolik derecelendirme yöntemleri, tek bir hidrolik değişkenin veya değişken grubunun belirli bir faaliyet için hedef türün akış gereksinimlerini yeterli bir şekilde temsil edebileceği şeklinde son derece basit bir varsayıma dayanmaktadır. Gerçekten de, hedef organizmaların çevresel akış gereksinimleri, yalnızca temsili enkesitten elde edilen hidrolik değişkenler kullanılarak belirlenmektedir. Tek kesitten elde edilen hidrolik değişkenler arasındaki ilişkilerin kalitesi, sonuçlar için kritik öneme sahiptir. Ancak bu yöntemlerin hesaplama sonuçları mekansal veya zamansal çözünürlükte nadiren dinamiklerdir. Sonuçlar sadece düşük ve orta çözünürlüğe sahip olma eğilimindedir. Son olarak, hedef biyota için akarsu iç ortamındaki habitat üzerine odaklanmak, bu yöntemlerin akarsu kıyısındaki bitki örtüsü gibi kıyı ekosisteminin diğer bileşenleri için kolayca kullanılamadığı anlamına gelmektedir.

3.3.3 Habitat simülasyon yöntemlerinin güçlü/zayıf yönleri

Habitat simülasyon yöntemleri, akıştaki artımlı değişimlerin fiziksel habitat üzerindeki etkilerini değerlendirebildiğinden, dinamik bir hidrolojik ve habitat zaman serisi bileşenlerine sahip olduklarından, çeşitli sucul türlerin yaşam sürelerini hesaplamak ve/veya bu türler için çeşitli alternatif çevresel akış senaryolarını belirlemek amacıyla kullanılabilmektedir. Bununla birlikte bilgisayar tabanlı olduklarından, büyük miktarda hidrolojik, hidrolik ve biyolojik veriyi standartlaştırılmış, ancak esnek ve etkileşimli bir şekilde işleyebilmektedirler. Ayrıca yöntemin temelini oluşturan özellikle çok boyutlu hidrolik modelleme alanında gerçekleşen ilerlemeler sayesinde yüksek mekansal ve zamansal çözünürlük derecelerinde çalıştırılabilmektedir. PHABSIM gibi modelleme yaklaşımları, nesnel

olarak ölçülebilmeleri ve etkilerinin akıştaki artışlarla nasıl değiştiğinin doğru bir şekilde modellenebilmesi koşuluyla, gelecekte alternatif hidrolik değişkenlerin dahil edilmesini sağlamak için yeterince esnektir.

Habitat simülasyon yöntemlerinde odak noktası, çoğunlukla önemli canlı türleri üzerinedir. Karmaşık ve çok çeşitli sucul canlı toplulukları ile, bu toplulukların küçük bir kısmını ele almak için bile tek bir çevresel akış tavsiyesi kullanılmamalıdır (Prewitt, 1980). Bununla birlikte, asıl önemli olan bir çevresel akış yaklaşımının amacının sağlıklı bir akarsuyun sürdürülebilirliği olduğu durumlarda, çoğu zaman uygun hedef türlerin seçimi zordur. Bu yöntemler pek çok canlı türü için uygulanabilecek kadar esnek olmakla birlikte, akarsu kıyısındaki bitki örtüsü gibi kıyı ekosisteminin diğer bileşenleri için henüz kullanılamamaktadır.

Habitat simülasyon yöntemlerinin çoğunda fiziksel mikrohabittaki akışla ilgili değişikliklere karşı oluşan biyolojik tepkiyi modellemenin ancak habitat, çeşitli hidrolik değişkenler tarafından tanımlandığında yeterli olduğu varsayımında bulunmaktadır. Böyle bir varsayımın oldukça sınırlı ve uygunsuz olması muhtemeldir. Çünkü akarsu enkesitlerinin belirlenmesi ve sayısı dahi, sonraki hidrolik ve habitat simülasyonlarının temsili ve güvenilirliğini belirlemede kritik öneme sahiptir.

Çok sayıda potansiyel kaynak olduğundan habitat simülasyon yaklaşımlarının doğru uygulanmasına yönelik en büyük kısıtlardan biri doğru türetilmiş habitat uygunluk indeksi kriterlerinin kullanılmasıdır. Habitat uygunluk indeksi kriterlerinin, farklı mevsimlerde, farklı akarsularda, farklı bölgelerde ve farklı ülkelerde dahi aynı kıstaslara göre belirlenmesi son derece sorunlu bir uygulamadır. Örneğin IFIM gibi yaklaşımlar başlangıçta belirli akarsularda uygulamak üzere geliştirilmiş olmasına rağmen, dünya çapında farklı hidrolik, jeomorfolojik ve hidrolojik özelliklere sahip çok sayıda farklı akarsuya uygulanmıştır.

Habitat simülasyon modellerinin bilgisayar temelli yapısı sebebiyle oldukça karmaşık olması, sonuçlarını anlama ya da kullanma zorluğunu ortaya çıkarmaktadır. Çalışmanın alanına göre uygun modellerin veya alt programların seçilmesi aynı zamanda tek bir kullanıcıda mevcut olma olasılığı olmayan kombine hidrolojik, hidrolik ve ekolojik uzmanlık gerektirmektedir.

3.3.4 Bütünleşik yöntemlerin güçlü/zayıf yönleri

Bütünleşik yöntemler diğer çevresel akış yöntemlerine kıyasla en avantajlı yöntemlerdir. Bunun en önemli sebebi, uygulamada akarsu ekosisteminin tüm bileşenlerini ele almaları ve doğal hidrolojik rejimle güçlü bağlarının bulunmasıdır. Bu yöntemler biyolojik, jeomorfolojik ve hidrolojik verileri birleştirerek akış rejiminin tüm özelliklerini dikkate almaktadırlar. Hesaplama sonuçları birkaç farklı çözünürlük seviyesinde üretilebilmektedir. Bu nedenle pragmatik, esnek ve şeffaflardır.

Diğer mevcut çevresel akış yöntemlerinde olduğu gibi, başlangıç versiyonu dışında bütüncül yöntemlerin de birkaç uygulaması vardır. Gerek orijinal versiyonu gerekse sonradan geliştirilen uygulamaları uluslararası ilgiyi her daim çekmektedir. Bu yöntemler diğer uluslararası yaklaşımlarla karşılaştırmayı, varsayımlarının test edilmesini ve doğrulanmasını, tahmin kapasitelerinin değerlendirilmesini gerektirmektedir. Ayrıntılı fiziksel habitat ve su kalitesi modellemesi bütüncül yöntemlerde her ne kadar bugüne dek rutin olarak gerçekleştirilmese de bu yöntemlerin katkısıyla birlikte bu konularda da gelişmeye açık bir alan oluşmaktadır.

3.4 Türkiye’deki Çevresel Akış Uygulamaları

Çevresel akış tayini, su kaynaklarının sürdürülebilir yönetiminin ayrılmaz bir parçasıdır ve akarsuların sağladığı ürün ve hizmetlerin aşırı tüketilmesini önlemektedir. Tarihsel olarak su, kısa vadeli ekonomik büyüme önceliği ile yönetilmiş ve bu şekilde insan topluluklarına önemli faydalar sağlamıştır. Ancak bu süreçte, su kaynaklarının kalitesine ve sağlıklı olmasına çok az önem verilmiştir. Günümüzde ise, uzun vadeli ekonomik fayda için sucul ekosistemlere ve sağladıkları hizmetlere daha çok özen gösterilmesi gerektiği anlayışı giderek ağırlık kazanmaktadır.

Türkiye’de su yapılarındaki çevresel akış uygulamalarının çerçevesini çizen veya uygulama kapsamına alan çalışmalarla ilgili düzenlemeler ilk olarak hidroelektrik enerji sektöründe uygulanmak üzere, 26.06.2003 tarihli ve 25150 sayılı “Elektrik Piyasasında Üretim Faaliyetinde Bulunmak Üzere Su Kullanım Hakkı Anlaşması İmzalanmasına İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Yönetmelik” ile resmîyet kazanmıştır. Yönetmelik Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) ve tüzel kişiler

arasında düzenlenen Su Kullanım Hakkı Anlaşması'nın imzalanma işlemlerinde uygulanacak sürece ilişkin çerçeveyi çizmektedir. Yönetmelikte 18.08.2009 tarihinde yapılan değişiklik ile çevresel akış, 'can suyu' veya daha geniş ifadeyle 'doğal hayatın devamı için mansaba bırakılacak su miktarı' olarak tanımlanmıştır. Buna göre, dere yatağının su alma yeri mansabında doğal hayatın idamesi sağlanmalı ve bu kesimde su haklarını karşılayacak miktardaki su yatağa bırakılmalıdır. Mansaba bırakılacak su miktarının hesaplanmasında hidrolojik tabanlı çevresel akış tayin yöntemlerinden biri olan "Tennant (Montana) Yöntemi" kullanılmakta ve bırakılacak su miktarı 'projeye esas alınan son on yıllık ortalama akımın en az %10'u' olarak belirlenmektedir. Çevresel Etki Değerlendirme (ÇED) raporu sürecinde ekolojik ihtiyaçlar göz önüne alındığında bu miktarın yeterli olmayacağının ortaya çıkması durumunda söz konusu miktarın artırılabilmesi ifade edilmektedir. Akarsuda son on yıllık ortalama akımın %10'undan daha az akım olması halinde ise suyun tamamının doğal hayatın devamı için mansaba bırakılması şart koşulmaktadır.

Çevresel Etki Değerlendirme raporlarının kapsamı ise 3.10.2013 tarih ve 28784 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliği'nde belirlenmiştir.

Su Kullanım Hakkı Anlaşması imzalanmadan önce baraj inşasından sorumlu firmaların Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü dışındaki kişi, kurum ve kuruluşlar ile halk sulamalarına ait su haklarının tespitine ilişkin olarak "Mansap Su Hakları Raporu" hazırlamaları gerekmektedir.

Anlaşmaların imzalanmasından sonraki süreçte yatırımcı firmalardan, Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü tarafından 14.03.2011 tarihinde geliştirilmiş olan Ekosistem Değerlendirme Raporu talep edilmektedir. Ekosistem Değerlendirme Raporu, Çevresel Etki Değerlendirmesi Yönetmeliği kapsamında tüm baraj projeleri için hazırlanması zorunlu olan bir rapordur.

Firmalar tarafından hazırlanan Ekosistem Değerlendirme Raporu ve Çevresel Etki Değerlendirme Raporu ile Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü onayına sunulan çevresel akış miktarı, Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü'nün de oluruyla birlikte belirlenmektedir.

Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü çevresel akış miktarının mansaba bırakılıp bırakılmadığının kontrolü için Akım Gözlem İstasyonları'nın (AGİ) kurdurulması ve

izlenmesinden sorumludur. AGİ’lerde düzgün akışın sağlanabilmesi ve doğru ölçümün yapılabilmesi için, DSİ tarafından hidrolik kanallar yaptırılmakta ve değerler DSİ bölge müdürlüklerince 24 saat izlenmektedir. AGİ’lerde seviye - debi ilişkisinin değişip değişmediği her ay düzenli olarak yapılan kontrollerle takip edilmektedir. Çevresel akış miktarının yeterli ölçüde bırakılmadığı tespit edildiği takdirde cezai işlem uygulanması için, projenin bulunduğu yerdeki Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü’ne yazılı bildirimde bulunmaktadır.

Türkiye’de çevresel akış uygulamalarının izlenmesi ve denetimi, yerelde İl Çevre ve Şehircilik Müdürlükleri koordinasyonunda Devlet Su İşleri Bölge Müdürlükleri, Doğa Koruma ve Milli Parklar Bölge Müdürlükleri ve Orman Bölge Müdürlükleri tarafından yürütülmektedir.

Baraj projelerinde su kaynaklarının kullanım ayrıcalığı, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü ile yapılan su kullanım anlaşmasıyla 49 yıla kadar özel sektöre tahsis edilmektedir. Bu projeler için su tahsisi yapan ve fizibilite raporlarını inceleyen Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, projeleri tekil olarak ele almaktadır. Bu incelemede baraj projeleri daha çok hidrolojik ve memba-mansap ilişkisi açısından ele alınmaktadır. Projeler havza bazında bütüncül bir planlama anlayışıyla ele alınmadığından başta doğal akış rejimleri olmak üzere akarsu habitatının tüm bileşenleri için olumsuz sonuçlar doğmaktadır.

Buna rağmen Türkiye, alışıldık su kaynakları yönetiminde köklü değişikliklere gitmek için bazı fırsatlara sahiptir. Ülkemizde son yıllarda hukuksal ve kurumsal çerçevelerde gerçekleştirilen düzenlemeler, çevresel akış uygulamalarının güçlendirilmesi için uygun bir zemin oluşturmaktadır.



4. YÖNTEM VE HESAPLAMALAR

Bu çalışma kapsamında mevcut verilerin niteliği ve niceliği dikkate alınarak incelenen yatağa uygun çevresel akış miktarının belirlenmesi amacıyla Islak Çevre, Akuatik Baz Akım, Debi Süreklilik Eğrisi ve Düşük Akım İndisleri Yöntemleri'nin değerlendirmeleri yapılmıştır. Türkiye'deki mevcut baraj projelerinde müdahale öncesi doğal akış verisi dikkate alındığı ve verinin temini amacıyla yararlanılan akım gözlem istasyonları kurulum sonrası kapatıldığı için Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü tarafından 1985 - 2012 yılları arasında ölçülen baraj öncesi akış verisi kullanılmıştır (EK A). Ayrıca zaman serilerinin uyumluluğu ve karşılaştırma kolaylığı sağlaması açısından aynı periyoda ait Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından kaydedilen Çemişgezek otomatik meteoroloji gözlem istasyonu verisi kullanılmıştır.

4.1 Islak Çevre Yöntemi Uygulaması

Islak Çevre yönteminin uygulanmasında önem taşıyan iki husus mansaptaki balık türlerinin minimum su derinliği ve akım hızı gereksinimleri ile yöntemin uygulanmasında kullanılan akarsu en kesitinin temsil ediciliğidir. Bu kapsamda akarsuda bulunan hassas balık türü için minimum su derinliği 0.15 m, minimum akım hızı ise 0.20 m/s olarak belirlenerek (Cows ve Welcomme, 1998) Çizelge 4.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 : Hassas balık türlerinin minimum su derinliği ve akım hızı gereksinimleri.

Balık Türü	Yaşayabildiği minimum derinlik (m)	Yaşayabildiği minimum akım hızı (m/s)
Capoeta trutta	0,15	0,20
Alburnus mossulensis	0,15	0,20
Barbatula sp.	0,10	0,20

Islak Çevre hidrolik model hesaplamalarına temel oluşturan en uygun akarsu en kesitinin belirlenmesi için, mansaptaki sucul habitatın en olumsuz etkileneceği tipik bir kesit seçilmiştir. Bu kesitin belirlenmesi çalışması 30 Ocak 2014 tarihinde, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü'ne bağlı 9. Bölge Müdürlüğü tarafından yapılmıştır. Bu kesitte sucul ve ilgili habitat çevresel akış gereksiniminin karşılanması durumunda, akarsu boy kesitlerinin diğer bölümlerinde daha uygun sucul habitat koşullarının oluşacağı varsayımında bulunulmuştur.

Islak Çevre hesaplamaları aşağıda belirtilen Manning eşitliğine dayanmaktadır:

$$Q = \frac{1}{n} \times A \times \sqrt[3]{R^2} \times \sqrt{S} \quad (4.1)$$

(4.1) eşitliğinde Q debiyi (m^3/s), n Manning pürüzlülük katsayısını (boyutsuz), A akıma dik akarsu en kesit alanını (m^2), R hidrolik yarıçapı (m) ve S su yüzeyi eğimini (boyutsuz) göstermektedir. Hidrolik yarıçap (R) (4.2) eşitliğinde,

$$R = \frac{A}{P} \quad (4.2)$$

şeklinde tanımlanmakta olup P akıma dik akarsu yatak (en kesit) taban uzunluğunu (= Islak Çevre, m) göstermektedir. (4.1) eşitliğindeki bağımlı değişen olan debi; A , n , R ve S değerleri değiştiği için değişmektedir. Söz konusu değişkenlerden A ve R ilgili akarsu yatağı en kesitine, n yatak malzemesi tane boyu dağılımı ve bitki vb. kaynaklı engellere, S ise akarsu yatağı boy kesitine bağlı olarak değişmektedir. Bu çalışma kapsamında S değeri ilgili regülatör mansabındaki akarsu talveg kot değişimi dikkate alınarak belirlenmiştir. Diğer yandan, Islak Çevre hidrolik model hesaplama sonuçları üzerinde en etkili değişken pürüzlülük katsayısıdır (n). Farklı karakterlerdeki akarsularda veya akarsuyun değişen derinliklerinde geçerli n

katsayısı değerlerinin belirlenmesinde kullanılan başlıca iki yaklaşım, albüm kullanımı ya da n değerine etkiyen değişkenlere bağlı düzeltme katsayılarının kullanılmasıdır.

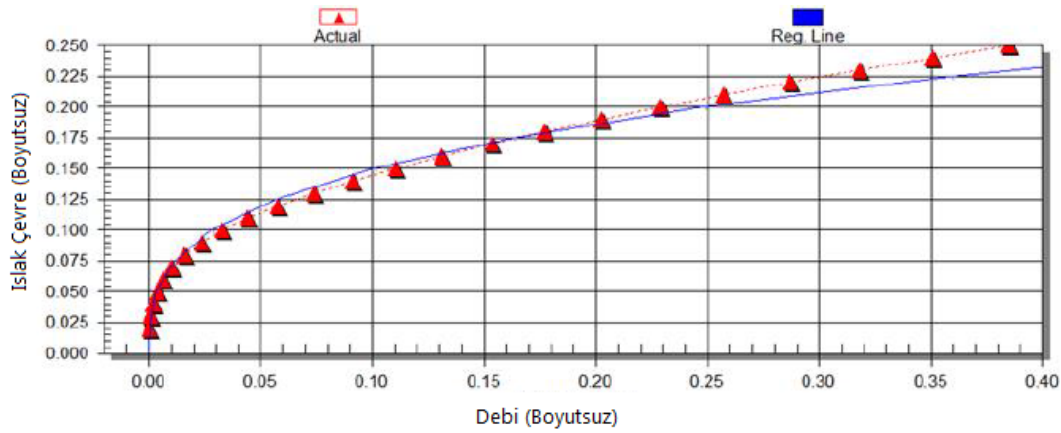
Albüm kullanımı yaklaşımında, farklı karakterdeki akarsular için hazırlanmış fotoğraf albümünden üzerinde çalışılan akarsu en kesitine benzeyen bir örnek seçilmekte ve bu örneğe ait albümde sunulan n değerinin ilgilenilen akarsu için geçerli olduğu varsayılmaktadır. Bu yaklaşımın öznel ve hatalı sonuçlar üretme olasılığı oldukça yüksek olup sonuçları bilimsel açıdan savunulabilir nitelikte değildir. Bu nedenle çalışmada n değerlerinin belirlenmesinde düzeltme katsayıları kullanılmıştır.

Hesaplamalarda Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'te gösterilen akarsu kesitine ait özelliklerden yararlanılmıştır. Şekil 4.1'de sunulan fotoğraf, akarsuyun 30 Ocak 2014 tarihli saha çalışması sırasındaki durumunu göstermektedir. Saha gözlemlerine göre yatakta maksimum su derinliği 0,24 m, akım kesiti yüzey genişliği 4,5 m, su yüzeyindeki akım hızı 0,71 m/s'dir. Ortalama akım hızının bu değer % 80'i olduğu (0.57 m/s) varsayılmıştır (Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, 2014).

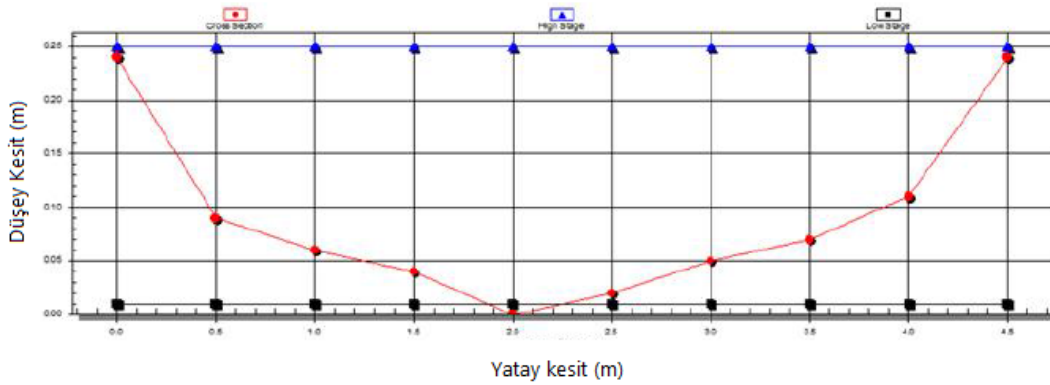


Şekil 4.1 : 30 Ocak 2014 günü akarsuyun genel görünümü.

Çalışmada öncelikle farklı akım derinliklerine karşılık gelen Islak Çevre (P) ve Debi (Q) değerleri, belirlenen en büyük Islak Çevre ve Debi değerlerine bölünerek boyutsuz Islak Çevre ($P_b = P/P_{\max}$) ve boyutsuz debi ($Q_b = Q/Q_{\max}$) değerlerine dönüştürülmüştür. Islak Çevre yöntemi ile çevresel akış miktarının belirlenmesinde Islak Çevre (P, y eksen) ile Debi (Q, x eksen) arasındaki ilişkiden yararlanılmıştır. $P_b - Q_b$ grafiğindeki eğrinin kırılma noktasına karşılık gelen Q_b değeri minimum çevresel akış değeri olarak kabul edilmektedir. Eğrinin kırılma noktası altındaki küçük debi değişimleri ıslak çevre üzerinde çok etkili iken, kırılma noktası üzerinde ıslak çevrenin değişimi büyük debi değişimleri gerektirmektedir.



Şekil 4.2 : $P_b - Q_b$ Eğrisi.



Şekil 4.3 : Akarsu kesit geometrisi.

$P_b - Q_b$ eğrileri, üçgen biçimli yataklarda üstel, dikdörtgen biçimli yataklarda logaritmik tipteki fonksiyonlara uyum göstermektedirler. Bu fonksiyonlar, a ve b katsayılar olmak üzere Denklem 4.3 ve 4.4'teki gibidir:

$$P = Q^b \quad (4.3)$$

$$P = a \times \ln(Q) + 1 \quad (4.4)$$

Kesitteki su derinliğinin P_b - Q_b fonksiyonu üzerindeki etkisinin belirlenmesi amacıyla farklı akım su derinlikleri için hazırlanan P_b - Q_b eğrilerine uyan fonksiyonlar karşılaştırılmış, aralarında önemli bir farklılık oluşmadığı saptanmıştır. Fonksiyonların birinci türevinin 1 değerini aldığı nokta dikkate alınarak yapılan değerlendirmede farklı akım derinliklerine karşılık gelen Q_b değerlerinin küçük farklılıklar dışında aynı oldukları belirlenmiştir. Diğer bir deyişle, elde edilen P_b - Q_b ilişkisi farklı dönemlerdeki, farklı akım koşulları için de temsil edicidir. P_b - Q_b eğrisine uyan fonksiyonun birinci türevine karşılık gelen P_b ve Q_b değerleri sucul habitat devamlılığını sağlayacak minimum değerler olarak belirlenmiştir. P_b değerine karşılık gelen Q_b değerinin her ay için aylık ortalama akım (Q_{ort}) değeri ile çarpılması sonucu ($Q = Q_b * Q_{ort}$) aylık çevresel akış değerleri belirlenmiştir.

Ortalama akım hızı ve kesit geometrisinden hareketle gözlem anındaki debinin 0.38 m³/s olduğu belirlenmiştir. Yatak malzemesi % 70 kaba çakıl (64-128 mm), % 10 çakıl (16-64 mm) ve % 20 kumdan (1-16 mm) oluşmaktadır. Saha gözlemlerine göre düşük ve yüksek akımlar için su yüzeyi eğimi 0,02446 (m/m) olarak belirlenmiştir. Yatak özellikleri dikkate alınarak belirlenen Çizelge 4.2'deki düzeltme faktörleri kullanılarak, düzeltilmiş Manning pürüzlülük katsayısı değerinin hesaplamaya konu derinlik aralığında 0.09 düzeyinde olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.2 : Manning pürüzlülük katsayısı düzeltme faktörleri

Faktör	Faktör Tanımı	Ortalama Değer
nb	İri çakıl	0,020
n1	Şiddetli	0,015
n2	Sıklıkla değişen	0,015
n3	Dikkate değer	0,020
n4	Orta	0,020
m	Az	1,000
n		0,090

Halihazır parametreler kullanılarak elde edilen hesaplama sonuçları Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4'te belirtildiği gibi öncelikle sucul habitat minimum su derinliği ve akım hızını karşılayan debi değeri açısından değerlendirilmiştir. Değerlendirmede sucul habitat minimum su derinliği gereksinimi (0.15 m) ve minimum akım hızı (0.20 m/s) dikkate alınmıştır. Buna göre minimum su derinliği (0.15 m) ve minimum akım hızı

limitlerinin (0.20 m) fazlası ile karşılanacağı anlaşılmaktadır. Her iki limiti de karşılayan debi değeri ise (0.13 m³/s) minimum çevresel akış debisinin (=0.06 m³/s, =Yıllık Ortalama Akış%10) altında kalmaktadır. Diğer yandan, minimum çevresel akış debisinde ise akım hızı 0.27 m/s, su derinliği ise 0.11 olarak oluşmaktadır. Bu durumda, yatağa minimum çevresel akış debisinin bırakılması durumunda sucul habitat minimum akım hızı gereksinimi fazlası ile karşılanmakta, minimum su derinliği limitinin ise biraz altında kalmaktadır.

Çizelge 4.3 : Akarsu kesitine ait hidrolik hesaplama sonuçları.

Derinlik (m)	Alan (m ²)	Islak Çevre (m)	Genişlik (m)	R (m)	n	Ortalama Akım Hızı (m/s)	Debi (m ³ /s)
0,01	0,00	0,38	0,38	0,00	0,09	0,05	0,01
0,02	0,01	0,75	0,75	0,01	0,09	0,08	0,01
0,03	0,02	1,04	1,04	0,02	0,09	0,11	0,01
0,04	0,03	1,34	1,33	0,02	0,09	0,13	0,01
0,05	0,04	1,75	1,75	0,02	0,09	0,15	0,01
0,06	0,06	2,25	2,25	0,03	0,09	0,16	0,01
0,07	0,09	2,67	2,67	0,03	0,09	0,18	0,02
0,08	0,12	2,96	2,96	0,04	0,09	0,20	0,02
0,09	0,15	3,26	3,25	0,05	0,09	0,22	0,03
0,10	0,18	3,42	3,41	0,05	0,09	0,25	0,04
0,11	0,22	3,58	3,57	0,06	0,09	0,27	0,06
0,12	0,25	3,65	3,64	0,07	0,09	0,29	0,07
0,13	0,29	3,72	3,71	0,08	0,09	0,32	0,09
0,14	0,33	3,80	3,78	0,09	0,09	0,34	0,11
0,15	0,36	3,87	3,85	0,09	0,09	0,36	0,13
0,16	0,40	3,95	3,93	0,10	0,09	0,38	0,15
0,17	0,44	4,02	4,00	0,11	0,09	0,40	0,18
0,18	0,48	4,10	4,07	0,12	0,09	0,42	0,20
0,19	0,52	4,17	4,14	0,13	0,09	0,44	0,23
0,20	0,57	4,25	4,21	0,13	0,09	0,45	0,26
0,21	0,61	4,32	4,28	0,14	0,09	0,47	0,29
0,22	0,65	4,40	4,36	0,15	0,09	0,49	0,32
0,23	0,70	4,47	4,43	0,16	0,09	0,50	0,35
0,24	0,74	4,54	4,50	0,16	0,09	0,52	0,38

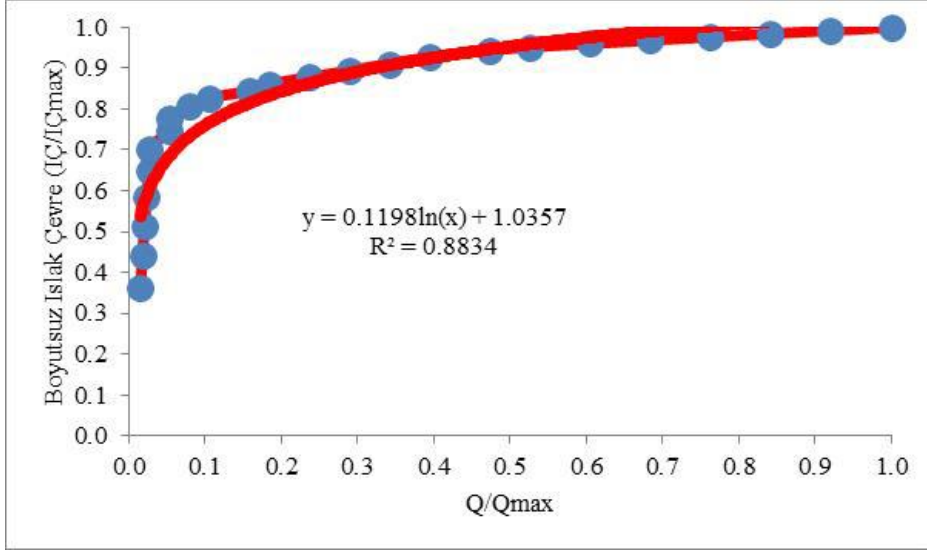
Çizelge 4.4 : Hesaplanan sonuçlara göre sucul habitat minimum su derinlik ve akım hızına karşılık gelen debi ve diğer hidrolik özellikler

	Derinlik (m)	Ortalama Akım Hızı (m/s)	Debi (m ³ /s)	Alan (m ²)	Genişlik (m)	Islak Çevre (m)
Sucul habitat minimum gereksinimi	0,15	0,2				
Hesaplama sonucu	0,15	0,36	0,13	0,36	3,85	3,87

Aylık bazdaki çevresel akış debilerinin belirlenmesi aşamasında öncelikle eğrinin birinci türevinin 1 değerini aldığı kırılma noktasına karşılık gelen P_b ve Q_b değerleri belirlenmiştir. P_b - Q_b eğrisi birinci türevinin 1 değerini aldığı kırılma noktasında $P_b=0,786$, $Q_b=0,125$ değerini almaktadır. Diğer bir deyişle, herhangi bir dönemdeki doğal akışın % 12,5’inde o dönemdeki doğal ıslak çevre büyüklüğünün % 60,6’sı elde edilebilmektedir.

Çalışmada ıslak çevrenin sucul habitat koşulları ile orantılı olduğu dikkate alınmış; baraj koşullarındaki mevcut büyüklükteki bir ıslak çevrenin sucul ve ilgili habitat devamlılığı açısından yeterli olacağı kanaatine varılmıştır.

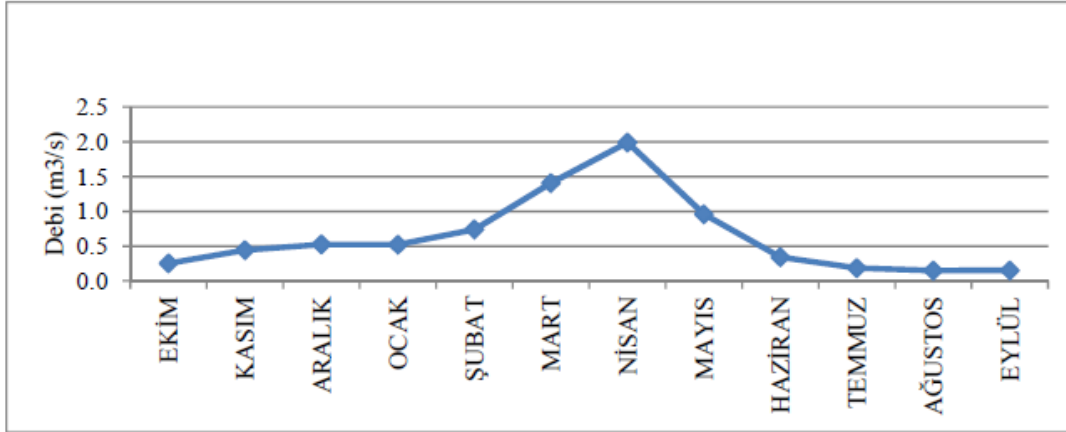
Cevizlidere Barajı’ndan mansaba salınması gereken aylık bazdaki çevresel akış değerleri aylık ortalama akımların boyutsuz debi (0.125) ile çarpılması sonucu belirlenmiştir. Hesaplanan aylık bazdaki çevresel akış debilerinin, yıllık ortalama akışın %10’una tekabül eden değerin (= 0.064 m³/s) altında olduğu aylar için mevzuat uyarınca yıllık ortalama akışın %10’u olan değer dikkate alınmıştır. Cevizlidere Barajı için hesaplanan aylık bazdaki çevresel akış debilerinin yıllık ortalaması 0.080 m³/s, gereken aylık bazdaki çevresel akış debilerinin yıllık ortalaması ise 0.096 m³/s’dir. Hesaplanan aylık çevresel akış debilerinin yıllık ortalaması regülatör yerindeki yıllık ortalama akımın % 12.5’ine, gereken aylık çevresel akış debilerinin yıllık ortalaması ise regülatör yerindeki yıllık ortalama akımın % 15.0’ine karşılık gelmektedir. Önerilen aylık çevresel akış debilerinin yıllık ortalamasının mevzuat gereği kabul edilen son on yıllık akışa oranı ise % 15,9’dur.



Şekil 4.4 : Akarsu kesiti için $Q_b - P_b$ ilişkisi.

4.2 Akuatik Baz Akım Yöntemi Uygulaması

Baraj yeri aylık ortalama akışlarının zamansal değişimi Şekil 4.5'te gösterilmektedir. Grafikten aylık ortalama akımların membadan kaynaklanan yüzeysel akışça belirlendiği, akış üzerinde yağışın yanısıra kar erimesinin de etkili olduğu izlenmektedir. Akarsuya ait yüksek akış dönemi Şubat-Mayıs aylarını, düşük akış dönemi ise Haziran-Ocak aylarını kapsamaktadır. Ortalama yağışlı bir yılda, yüksek akış döneminde aylık ortalama akış $1.274 \text{ m}^3/\text{s}$, düşük akış döneminde ise $0.321 \text{ m}^3/\text{s}$ düzeyindedir. Buna karşın, kurak bir yılda yüksek akış döneminde aylık ortalama akış $0.379 \text{ m}^3/\text{s}$, düşük akış döneminde ise $0.061 \text{ m}^3/\text{s}$ düzeyinde gerçekleşmektedir. Kurak yıla ait aylık ortalama düşük akış değeri, uzun süreli baz akım değeri olarak kabul edilmektedir.



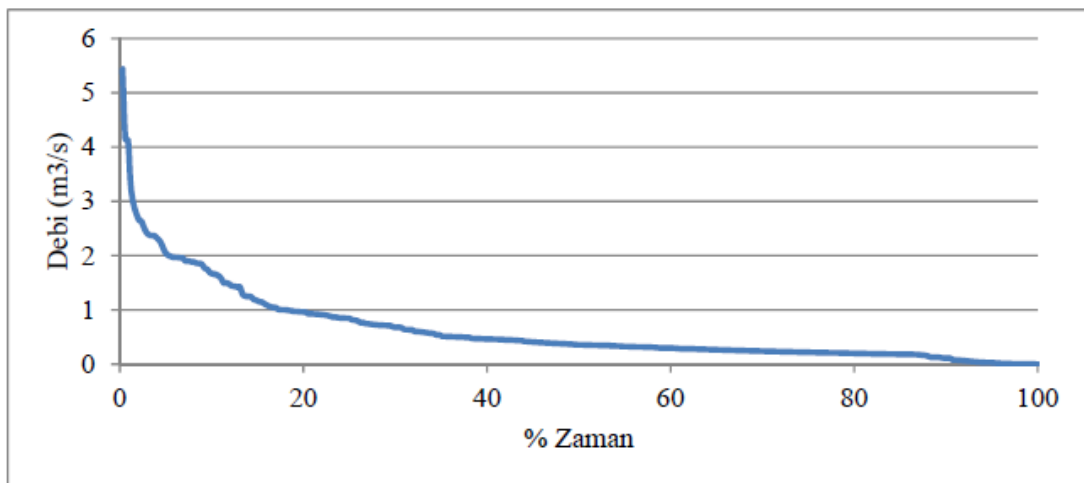
Şekil 4.5 : Cevizlidere Barajı aylık ortalama akışlarının zamansal değişimi.

4.3 Debi Süreklilik Eğrisi Yöntemi Uygulaması

Debi – Süreklilik Eğrisi Yöntemi'nde oluşturulan eğri, akış verisine göre akarsuda belirli bir debinin aşıldığı zaman yüzdesini göstermektedir. Akarsuyun düşük akış karakteristiğini iyi ifade eden bu çizgi genellikle düşey ekseninde debi, yatay ekseninde aşılma yüzdesi olacak şekilde çizilmektedir.

Burada dikkat edilmesi gereken husus, bu eğriden %75 aşılma yüzdesine karşı okunan debinin, yılın bir gününde aşılma olasılığı %75 olan debi değil, yılın %75'inde aşılması beklenen debi olduğudur. Debi – süreklilik eğrisi belirlendikten sonra bu eğriden zamanın belirli bir yüzdesinde akarsuda mevcut olan debi okunabilmektedir. Zamanın %95 gibi bir yüzdesinde aşılan $Q_{0.95}$ debisi akarsuyun düşük akış potansiyelini ifade etmektedir.

Çevresel akış uygulamalarında sıklıkla Q_{75} ve Q_{95} istatistikleri tercih edilmektedir. Bu doğrultuda Cevizlidere Barajı için en uygun çevresel akış miktarının hesaplanmasında bu istatistiklere başvurulmuştur. Debi süreklilik eğrisi aylık ortalama akışların büyükten küçüğe sıralanması ve her bir debi değerine ait frekansın hesaplanması yoluyla belirlenmiştir. Şekil 4.6'da gösterilen baraj yerine ait debi süreklilik eğrisinden, akarsu akışının taşkın ve kar erimesine bağlı aşırı akış içeren dönemler dışında oldukça yumuşak bir azalma eğilimi içinde olduğu gözlenmektedir. Debi süreklilik eğrisi verilerine göre Q_{75} ve Q_{95} debileri sırasıyla $0.217 \text{ m}^3/\text{s}$ ve $0.029 \text{ m}^3/\text{s}$ düzeyindedir.



Şekil 4.6 : Cevizlidere Barajı debi - süreklilik eğrisi.

4.4 Düşük Akım İndisleri Yöntemi Uygulaması

Düşük akım indisi d-günlük minimum akışlara göre tanımlanabilmektedir. Düşük akışlar sürekli oldukları zaman etkili olduklarından 1 günlük yerine d-günlük akımları kullanmak daha uygundur. Bu çalışmada minimum akış indislerinin belirlenmesi için daha güvenilir olan günlük akışlardan yararlanılmıştır. Buna göre 7Q10 ve 7Q20 değerleri $0.015 \text{ m}^3/\text{s}$ ve $0.004 \text{ m}^3/\text{s}$ olarak belirlenmiştir.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında Cevizlidere Barajı çevresel akış miktarının belirlenmesi amacıyla Islak Çevre, Akuatik Baz Akım, Debi Süreklilik Eğrisi ve Düşük Akım İndisleri Yöntemleri ile hesaplanan aylık bazdaki çevresel akış debileri Çizelge B.1’de karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırma sonucunda diğer aylık ortalama değerlerine kıyasla en yüksek akış seviyelerine ulaşan, 1985 – 2012 yıllarına ait uzun yıllar aylık ortalama akış değerleri optimum şartlar olarak referans kabul edildiğinde aylık bazda bu değerlere yaklaşan çevresel akış miktarının o aya ait en uygun tercih olacağı düşünülmektedir.

Cevizlidere Barajı için akuatik baz akım, Q75, Q95, 7Q10 ve 7Q20 debileri sırasıyla $0.061 \text{ m}^3/\text{s}$, $0.217 \text{ m}^3/\text{s}$, $0.029 \text{ m}^3/\text{s}$, $0.015 \text{ m}^3/\text{s}$ ve $0.014 \text{ m}^3/\text{s}$ düzeyindedir. Bununla birlikte Islak Çevre Yöntemi’yle hesaplanan çevresel akış miktarları aylık bazda değişkenlik göstermektedir. Çizelge B.2’de ölçüm periyodundaki ortalama aylık akış ve çevresel akış uygulamalarında geçerli mevcut mevzuata esas olan son on yıllık (SOY) aylık ortalama akış değerleri ile birlikte ay bazında uygulanması önerilen yöntemler gösterilmektedir. Burada (*), önerilen yönteme ait aylık akış değerinin uzun yıllar aylık akış ortalamasının altında kalmasına rağmen diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında bu değere en yakın olması sebebiyle tercih edildiğini ifade etmektedir. (**), önerilen yönteme ait aylık akış değerinin uzun yıllar aylık akış ortalamasının üzerinde olması, kuvvetli yağışların ve dolayısıyla kurak mevsimlere kıyasla daha yüksek yüzey akışının gerçekleştiği durumlarda akarsu yatağında akış fazlasına sebep olması ihtimalinin bulunduğunu ifade etmektedir. (***) ise önerilen yönteme ait aylık akış değerinin uzun yıllar aylık akış ortalamasının üzerinde olmasına rağmen önerildiği Temmuz, Ağustos, Eylül aylarının barajın bulunduğu bölgede en düşük yağış ve akış değerlerinin gözlemlendiği döneme denk gelmesi sebebiyle akarsu yatağında akış fazlası oluşturmayacağını ifade etmektedir.

Buna göre Cevizlidere Barajı mansabında bırakılması gereken çevresel akış miktarları Ekim, Kasım, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında Debi Süreklilik Eğrisi

Yöntemi'nin Q75 istatistiği ile, Aralık, Ocak, Şubat, Mart, Nisan Mayıs ve Haziran aylarında ise son on yıllık ortalamalarla hesaplanması gerektiği düşünülmektedir.

Yapılan çalışma sonucunda Tunceli ili Çemişgezek ilçesinde yer alan Cevizlidere Barajı mikro ölçeğinden yola çıkarak bundan sonraki baraj projelerinde çevresel akış miktarlarının tayininde kullanılacak yöntemlerin belirlenmesi için önerilen yaklaşım aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır:

- Üzerinde baraj projesi planlanan her bir akarsu ve birden çok baraj inşa edilen akarsu kolları için istatistiksel anlamlılık düzeyini karşılayacak uzunlukta veri toplanmalıdır. Burada önerilen en kısa veri süresi 30 – 40 yıldır.
- Toplanan veriden elde edilecek uzun yıllar aylık ortalama akış değerleri çevresel akış miktarı belirleme çalışmalarında referans koşul olarak kullanılmalıdır. Ayrıca mevcut mevzuat gereği hesaplanan son on yıllık ortalama akış değerleri, çalışmada kullanılacak diğer hidrolojik yöntemlerle birlikte değerlendirmeye tabi tutulmalıdır. Ancak kesin olarak sadece bu değer tercih edilmesinden kaçınılmalıdır.
- Referans koşulu kabul edilen uzun yıllar aylık ortalama akış değerleri, tüm hidrolojik yöntemlerle hesaplanan çevresel akış miktarlarıyla karşılaştırılarak aylık ve mevsimsel bazda en uygun olduğu düşünülen yöntem belirlenmelidir.
- 30 veya 40 yıllık periyotlarla hesaplanan uzun yıllar aylık ortalamalar, son on yıllık ortalamalar ve güncellenen veri setiyle hesaplanan yeni çevresel akış miktarları aynı yaklaşımla her on yıllık periyotta güncellenmelidir.

Böylece hidrolojik yöntemlerin genellikle sadece baraj öncesi doğal akış rejimlerine dayanması sebebiyle müdahale sonrası akarsu yatağında ve akışlarda gerçekleşen değişimleri ihmal etmesinin önüne geçilebilecektir. Bu çalışmanın, ülkemizde hidrolojik yöntemler dışında diğer yöntemlerin uygulanabilmesi için gereken veri ve gözlem yapısının bulunmaması, mevcut gözlem ağının salt hidrolojik yöntemlere uygun olması sebebiyle halihazırda sürdürülen çevresel akış uygulamalarında alternatif bir yaklaşım olması temenni edilmektedir.

KAYNAKLAR

- Annear, T.C., Cisholm, I.M., Beecher, H.A., Locke, A.G.H., Aarestrad, P.A., Coomer, C.C., Estes, C.E., Hunt, J.G., Jacobson, R.B., Jobsis, G.J.i Kaufmann, J.B., Marshall, J.B., Mayes, K.B., Smith, G.L., Stalnaker, C.B., Wentworth, R.** (2004). InStream Flows for Riverine Resource Stewardship. (Revised Edition). *IFC Cheyenne*, WY.
- Armstrong, J.D., Nislow, K.H.** (2012). Modelling approaches for relating effects of change in river flow to populations of Atlantic salmon and brown trout. *Fisheries Management and Ecology*. Retrived from <https://doi.org/10.1111/j.1365-2400.2011.00835.x>
- Arthington, A.H., Mackay, S.J., James, C.S., Rolls, R.L., Sternberg, D., Barnes, A., Capon, S.J.** (2012). Ecological Limits of Hydrologic Alteration: a Test of the ELOHA Framework in Southeast Queensland. *National Water Commission Waterlines Raporu* (Rapor No: 75).
- Avcı, İ., Altınbilek, D., Kantarcı, D., Gürses, Ü.Y., Baş, L., Doğan, P., Ateş, D., Erkan, Y., İzmirli, M.** (2009). Tema Vakfının Nehir Tipi HES'ler Görüşü, 28.
- Belmar, O., Velasco, J., Martinez-Capel, F.** (2011). Hydrological classification of natural flow regimes to support environmental flow assessments in intensively regulated Mediterranean rivers, Segura River Basin (Spain). *Environmental Management*, 47, 992–1004.
- Bernhardt, E., Bunn, S.E., Hart, D.D., Malmqvist, B., Muotka, T., Naiman, R.J., Pringle, C., Reuss, M., van Wilgen, B.,** (2006). Perspective The challenge of ecologically sustainable water management. *Water Policy*, 8, 475-479.
- Boove, K.D.** (1982). A Guide to Stream Habitat Analysis Using the IFIM. *US Fish and Wildlife Service Raporu* (Rapor No: FWS/OBS-82/26).
- Brown, C.A., Pemberton, C.W., Greyling, A.J., King, J.M.** (2008). Biophysical Module for Predicting Overall River Condition in Small to medium Sized Rivers with Predictable Flow Regimes; Incorporating updates to the DRIFT database. *WRC Final Report* , (DRIFT User Manuel, V2.0 : Vol.1.).
- Caissie, D., El-Jabi, N.** (2003). Instream flow assessment: From holistic approaches to habitat modelling. *Canadian Water Resource Journal*, 28, 173-183.
- Caissie, D., El-Jabi, N., Hebert, C.,** (2007). Comparison of hydrologically based instream flow methods using a resampling technique. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 34, 66-74.

- Clausen, B., Biggs, B.J.F.** (2000). Flow variables for ecological studies in temperate streams: groupings based on covariance. *Journal of Hydrology*, 237, 184-197.
- Cows, I.G., Welcomme, R.L.** (1998). Rehabilitation of Rivers for Fish. In Souchon, Y., Coeck, J. (Eds), *European Inland Fisheries Advisory Commission* (1st ed., Vol. 1, pp. 187-192). London: Oxford.
- Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü.** (2014). Türkiye'deki Barajlar. *Uluslararası Büyük Barajlar Komisyonu Türk Milli Komitesi Raporu*, 2014/1.
- Dunbar, M.J., Acreman M.C.** (2001). Applied hydro-ecological science for the twenty-first century. İçinde M.C. Acreman (Editör), *Hydro-ecology: Linking Hydrology and Aquatic Ecology*, 266, (s. 22-27). Wallingfor, UK: IAHS Press.
- Dyson, M., Bergkamp, G., Scanlon, J.** (2008). *Flow: The essentials of environmental flows*. Gland, Switzerland: IUCN.
- Eheart, J.W.** (2004). No river left behind: A call for regulation in a deregulating and misregulating era. *Water Resource Planning Management*, 130, 357-358.
- Hughes, D.A., O'Kefee, J.O., Smakhtin, V.U., King, J.M.** (1997). Development of an operating rule model to simulate time series of reservoir releases for instream flow requirements. *Water SA*, 23(1), 21-30.
- Hughes, J.M.R., James, B.** (1989). A hydrological regionalization of streams in Victoria, Australia, with implications for stream Ecology. *Marine and Freshwater Research*, 40, 303-326.
- Hughes, D.A., Münster, F.** (2000). Hydrological Information and Techniques to Support the Determination of the Water Quantity Component of the Ecological Reserve. *Water Research Commission Report* (Rapor No: TT 137/00).
- Linnansaari, T., Monk, W.A., Baird, D.J., Curry, R.A.** (2012). Review of approaches and methods to assess Environmental Flows across Canada and internationally. *DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc.*, 2012/039.
- Liu, C., Zhao, C., Xia, J., Sun, C., Wang, R., Liu, T.** (2011). An instream ecological flow method for data-scarce regulated rivers. *Journal of Hydrology*, 398, 17-25.
- Loar, J.M., Sale, M.J., Cada, G.F.** (1986). Instream needs to protect fishery resources., *World Water Issues in Evolution*, 2, 2098-2105.
- O'Kefee, J.H., Hughes, D.A., Tharme, R.E.** (2002). Linking ecological responses to altered flows for use in environmental flow assessment: the Flow Stress or Response Method. *Verhandlungenl internationale Veireinigung fuer Limnologie*, 28, 84-92.
- Olden, J.D., Poff, N.L.** (2003). Redundancy and the choice of hydrological indices for characterizing streamflow regimes. *Rivers Research and Applications*, 19, 101-121.

- Poff, N., Matthews, J.** (2013). Environmental Flow in the Anthropocene: Past progress and future prospects. *Current opinion in Environmental Sustainability*, 5, 1-9. doi: 10.1016/j.cosust.2013.11.006.
- Prewitt, C.G.** (1980). *Evaluation of Four Instream Flow Methodologies used on the Yampa and White Rivers, Colorado*. Colorado, Ft. Collins.
- Pusey, B.J., Kennard, M.J., Hutchinson, M.F., Sheldon, F., Stein, J.L., Olden, J.D., Mackay, S.J.** (2009). Ecohydrological Regionalisation of Australia: A Tool for Management and Science. *Final Report to Land and Water Australia* (Rapor No: 30334).
- Reiser, D.W., Wesche, T.A., Estes, C.C.** (1989). Status of instream flow legislation and practice in North America. *Fisheries*, 14, 22-29.
- Richter, B.D., Baumgartner, J.V., Braun, D.P., Powell, J.** (1998). A spatial assessment of hydrologic alteration within a river network. *Regulated Rivers Research and Management*, 14, 329-340.
- Stalnaker, C.B.** (1990). Minimum flow is a myth. İçinde M.B. Bain (Editör), *Ecology and Assessment of Warmwater Streams*, 90(5), (s.31-33). Fort Collins, Colorado: USGS.
- Smakhtin, V., Revenga, C., Döll, P.** (2004). A pilot global assessment of environmental flow requirements and scarcity. *Water International*, 29, 307-317.
- Stewardson, M.J., Gippel C.J.** (2003). Incorporating flow variability into environmental flow regimes using the Flow Events Method. *River Research and Applications*, 19, 459-472.
- Tennant, D.L.** (1976). Instream flow regimes for fish, wildlife, recreation, and related environmental resources. *Fisheries*, 96, 1395-1402.
- Tharme, R.E.** (2003). A global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers. *River Research and Applications*, 19, 397-441.
- UKTAG.** (2008). UK environmental standards and conditions (Phase I). *Final Report of the UK Technical Advisory Group on the Water Framework Directive*. Retrived from https://www.wfduk.org/sites/default/files/Media/Environmental%20standards/Environmental%20standards%20phase%201_Finalv2_010408.pdf.
- Wood, P.J., Agnew, M.D., Petts, G.E.** (2000). Flow variations and macroinvertebrate community responses in a small groundwater-dominated stream in south-east England. *Hydrological Process*, 14, 3133-3147.
- World Wildlife Fund.** (2009). Keeping Rivers Alive: A Primer on Environmental Flows and Their Assessment. *Water Security Series Report (Rapor No: 2)*.

World Wildlife Fund. (2014). Sürdürülebilir Hidroelektrik Enerji İçin Çevresel Akış Klavuzu. *Türkiye’de Sürdürülebilir Hidroelektrik Üretimine Doğru*, Türkiye: World Wildlife Fund.

Zhang, Y., Arthington, A.H., Bunn, S.E., Mackay, S., Xia, J., Keenard, M. (2012). Classification of flow regimes for environmental flow assessment in regulated rivers: the Huai River Basin, China. *River Resource Application*, 28, 989-1005.

Url-1 <<http://www.dsi.gov.tr>>, erişim tarihi 27.12.2017.

Url-2 <<http://www.mgm.gov.tr>>, erişim tarihi 01.03.2018.



EKLER

EK A: Cevizlidere Barajı doğal akışları çizelgesi

EK B: Cevizlidere Barajı çevresel akış yöntemi çizelgeleri



EK A**Çizelge A.1 : Cevizlidere Barajı doğal akışları (m³/s).**

Yıl	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ortalama
1985	0.349	0.419	0.390	0.435	0.605	1.177	2.658	0.634	0.303	0.205	0.187	0.184	0.629
1986	0.244	0.358	0.315	0.379	0.633	1.143	0.799	1.044	0.419	0.216	0.184	0.190	0.494
1987	0.298	0.462	0.284	0.392	0.884	0.867	4.122	1.500	0.446	0.277	0.211	0.204	0.829
1988	0.298	0.745	1.152	0.749	0.857	1.889	5.438	1.886	0.539	0.323	0.246	0.245	1.197
1989	0.491	0.571	0.963	0.453	0.468	0.972	0.539	0.248	0.229	0.176	0.166	0.191	0.456
1990	0.277	0.591	0.469	0.365	0.461	1.420	1.480	0.603	0.323	0.215	0.181	0.186	0.547
1991	0.229	0.301	0.389	0.258	0.346	1.435	1.968	0.929	0.294	0.212	0.187	0.198	0.562
1992	0.230	0.349	0.409	0.347	0.319	0.848	1.862	1.441	0.581	0.279	0.219	0.216	0.592
1993	0.248	0.342	0.491	0.332	0.381	1.084	2.356	2.414	0.677	0.348	0.283	0.262	0.768
1994	0.282	0.326	0.397	0.503	0.256	0.932	0.713	0.264	0.127	0.116	0.109	0.115	0.345
1995	0.126	0.333	0.200	0.370	0.402	1.255	2.302	1.112	0.413	0.276	0.217	0.207	0.601
1996	0.422	0.709	0.472	0.851	0.983	1.904	3.300	1.954	0.459	0.259	0.229	0.248	0.983
1997	0.393	0.300	0.907	0.578	0.448	0.562	1.958	0.972	0.353	0.270	0.241	0.251	0.603
1998	0.373	0.597	0.913	0.637	0.867	1.904	2.786	1.687	0.677	0.345	0.273	0.272	0.944
1999	0.314	0.459	1.003	0.516	0.767	0.963	1.656	0.503	0.327	0.210	0.182	0.191	0.591
2000	0.221	0.232	0.255	0.463	0.508	1.196	2.244	0.727	0.284	0.190	0.170	0.186	0.556
2001	0.248	0.257	0.285	0.301	0.359	0.916	0.716	0.988	0.295	0.206	0.181	0.186	0.412
2002	0.210	0.259	0.714	0.497	0.722	2.001	2.497	0.919	0.370	0.241	0.208	0.227	0.739
2003	0.216	0.227	0.207	0.263	0.356	0.730	4.154	0.929	0.380	0.217	0.193	0.197	0.672
2004	0.239	0.318	0.393	0.338	0.515	1.746	1.001	0.674	0.318	0.209	0.186	0.192	0.511

Çizelge A.1 (devam)

Yıl	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ortalama
2005	0.043	0.310	0.467	0.510	0.844	1.285	1.242	0.440	0.280	0.025	0.016	0.023	0.457
2006	1.011	2.035	1.585	1.245	1.856	2.369	1.841	0.813	0.360	0.079	0.013	0.013	1.102
2007	0.008	0.735	0.346	0.440	0.849	1.062	0.768	0.475	0.243	0.050	0.012	0.003	0.416
2008	0.030	0.189	0.208	0.235	0.898	1.046	0.505	0.192	0.057	0.008	0.003	0.000	0.281
2009	0.043	0.316	0.325	0.445	1.978	2.951	1.968	0.955	0.199	0.074	0.035	0.033	0.777
2010	0.061	0.444	0.821	2.122	1.666	1.500	0.690	0.499	0.145	0.029	0.002	0.001	0.665
2011	0.066	0.071	0.229	0.237	1.004	1.631	1.774	1.419	0.310	0.078	0.009	0.010	0.570
2012	0.126	0.125	0.110	0.354	0.456	2.624	2.376	0.644	0.162	0.038	0.006	0.001	0.585

EK B**Çizelge B.1 : Cevizlidere Barajı çevresel akış yöntemleri karşılaştırması (m³/s).**

	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Yıllık Ortalama
Ortalama	0,253	0,442	0,525	0,522	0,739	1,408	1,990	0,959	0,342	0,185	0,148	0,151	0,639
Standart sapma	0,194	0,357	0,351	0,378	0,448	0,585	1,198	0,553	0,151	0,102	0,094	0,096	0,217
Medyan	0,242	0,338	0,395	0,437	0,619	1,225	1,910	0,924	0,321	0,210	0,183	0,190	0,591
Minimum	0,008	0,071	0,110	0,235	0,256	0,562	0,505	0,192	0,057	0,008	0,002	0,000	0,281
Maksimum	1,011	2,035	1,585	2,122	1,978	2,951	5,438	2,414	0,677	0,348	0,283	0,272	1,197
SOY Ortalama	0,184	0,477	0,469	0,619	1,042	1,694	1,632	0,704	0,246	0,081	0,048	0,047	0,604
Q(Islak Çevre)	0,064	0,064	0,066	0,065	0,092	0,092	0,176	0,249	0,120	0,064	0,064	0,064	0,096
Q(Akuatik Baz Akım)	0,061	0,061	0,061	0,061	0,061	0,061	0,061	0,061	0,061	0,061	0,061	0,061	0,061
Q75	0,217	0,217	0,217	0,217	0,217	0,217	0,217	0,217	0,217	0,217	0,217	0,217	0,217
Q95	0,029	0,029	0,029	0,029	0,029	0,029	0,029	0,029	0,029	0,029	0,029	0,029	0,029
7Q10	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015
7Q20	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004

Çizelge B.2 : Cevizlidere Barajı önerilen çevresel akış yöntemleri.

	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül
Ortalama	0,253	0,442	0,525	0,522	0,739	1,408	1,990	0,959	0,342	0,185	0,148	0,151
SOY Ortalama	0,184	0,477	0,469	0,619	1,042	1,694	1,632	0,704	0,246	0,081	0,048	0,047
Önerilen Yöntem	Q75	Q75 - SOY	SOY*	SOY*	SOY**	SOY**	SOY*	SOY*	SOY*	Q75***	Q75***	Q75***

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Çağlar KAYNAK
Doğum Tarihi ve Yeri : 06/09/1988 - Üsküdar
E-posta : ckaynak@mgm.gov.tr

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2012, İstanbul Teknik Üniversitesi, Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Meteoroloji Mühendisliği Bölümü

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2013-2018 yılları arasında Meteoroloji 13. Bölge Müdürlüğü'nde çalıştı.
- 23 – 27 Mart 2015 tarihleri arasında Reading, İngiltere'de ECMWF/EUMETSAT Sayısal Hava Tahmin (SHT) Uydu Uygulamaları Merkezi (SAF) Uydu Verisi Asimilasyonu Eğitimi'ne katıldı.